الكون

تاريخ الأفكار العلمية وتطورها

تعريب : طارق كمال ضيفُ الله

مراجعة: د. ماهر ملِك حنا



الكون

تاريخ الأفكار العلمية وتطورها

تعريب: طارق كمال ضيفُ الله

مراجعة: د. ماهر ملِكِ حنا

إهداء

إلى روح العالِم الفاضل

الأستاذ الدكتور/ ماهر مِلك حنا

"أستاذ الفيزياء الفلكية (سابقا) بكلية العلوم – القاهرة"

الذى فاضت روحه

قبل أن يرى هذا الكتاب النور.

طارق كمال ضيف الله

شكر

تحية إعزاز وتقدير إلى

الأستاذ/ محمد سعيد وزنة

الذى شكل دعمه وتشجيعه أساساً

وراء نشر هذا الكتاب.

طارق كمال ضيف الله

المحتويات

مقدمة التعريب

أصبحت قضية نقل المصادر الأساسية للعلوم المختلفة وتطبيقاتها، من لغاتها الأجنبية، التى كُتبت بها إلى اللغة العربية، إحدى القضايا المحورية، التى نأمل أن تساعد شعوبنا العربية فى القرن الحادى والعشرين على استيعاب ما تم إنجازه فى العلوم وتطبيقاتها من بداياتها الأولى وحتى آخر تطوراتها فى السنوات الأخيرة من القرن العشرين.

إننا على يقين بأن ليس ثمة تناقض بين ضرورة وأهمية تعلم اللغات الأجنبية من جانب، والتعريب من جانب آخر؛ إذ يهدف التعريب بشكل أساسى إلى مخاطبة من لا يعرف اللغات الأجنبية، أو من يعرف القليل عنها، علاوة على ذلك فإننا نهدف ـ بكتابنا هذا ـ نشر الثقافة العلمية، وما هو أبعد من الثقافة العلمية. كما نود المساهمة فى خلق مناخ فكرى ملائم لزيادة اهتمام القُرَّاء بقضايا العلم وتطوراته وتطبيقاته وظواهره، تلك التى يصادفونها فى حياتهم اليومية أو يسمعونها أو يشاهدونها أو يقرؤونها فى وسائل الإعلام.

يعرض هذا الكتاب لقراء العربية **تاريخ الفكر العلمى وتطوره حول الكون**، والتحديات التكنولوجية التى صادفت الباحثين حتى أمكنهم رصد وتحليل وفهم أعماق الكون، من خلال استعراض محاولات الإنسان لفهم الكون عبر التاريخ حتى آخر ما تم التوصل إليه وقت كتابة الكتاب بلغته الأصلية عام ١٩٩٧. كما يعرض أيضاً تاريخ الصدام الفكرى بين المعتقدات الدينية

الموروثة فى الغرب ومأفرزه العلم من تصورات، ذلك الصدام الذى كان مشرقنا العربى بمعزل عنه، حيث لم ينشأ ابتداء.

ومؤلف الكتاب، "ديفيد فِيلكين David Filkin"، رجل درس العلوم بأعرق جامعات إنجلترا ـ جامعة "أكسفورد" ـ وكان من حظه أن قاده، خلال رحلته مع علم الكونيات، زميل دراسته بالجامعة، "ستيفين هوكينج Stephen Hawking"، الرجل الذى يضعه بعض علماء الكونيات والفيزياء النظرية فوق قمة علماء وعباقرة أواخر القرن العشرين. وقد وقع الاختيار على هذا الكتاب لنقله إلى اللغة العربية نظرا لسهولة تناوله للموضوع، حيث جاء النص الأصلى المُعنون: Stephen Hawking's Universe نسجاً على كتاب ستيفين هوكينج.

والكون هو النظام الأكبر، الذى يحوى كل الأنظمة الصغيرة ـ المرئية وغير المرئية ـ ووحدة البناء الأساسية فيه تجمعات عناقيد المجرات، التى تتكون من عناقيد مجرية، تتكون بدورها من مجرات بكل منها عناقيد نجمية تتكون من نجوم، تدور حول بعضها كواكب قد تنشأ على إحداها حياة، ولربما صاحبتها أقمار تدور حولها. وتحكم العمليات الفيزيائية والديناميكية، التى تحدث داخل النظم المختلفة، مبادئ أساسية أهمها مبدأ "السببية"، الذى يعنى أن مستقبل أى نظام طبيعى يتحدد بماضيه.

يستخدم علم الكونيات، أثناء دراسته لنشأة الكون وتطوره ومآله النهائى، عدة تخصصات علمية، منها ميكانيكا نيوتن، والنظرية النسبية العامة، وميكانيكا الكَم، والفيزياء النووية، وفيزياء الجسيمات تحت الذرية والطاقات العالية،

والكيمياء بفروعها المختلفة، والفيزياء الفلكية والنظريات المستخدمة فيهـــا، وعلم نشأة الحياة وتطورها، وتقنيات الرصد الفلكى بالتلسكوبات الأرضية أو التى تحملها الأقمار الصناعية والمحطات المدارية حول الأرض أو المتجولة فى الفضاء داخل المجموعة الشمسية وما وراءها.. وعادةً ما يخلص دارسو علم الكونيات وباحثوه ومتخصصوه إلى وجود فلسفة واحدة ومنطـــق واحـــد يعمل فى الكون كله، فمن أعظم التجمعات المجرية وحتى أصغر الجسيمات تحت الذرية، ومروراً بالخلايا الحية، نجد ـ دائمًا ـ ذلك المنطق الواحـــد، الذى يشير بوضوح إلى تدبير مُحكَم مـــن وراء الكـــون والحيـــاة الماديـــة والإنسانية فيه.

ختامًا، نود أن نشير إلى أن الأمم إنما تسبق بقدر مثابرتها وعملها الجاد نحو الأخذ بأسباب القوة، القوة التى قد تتغير طريقة التعبير عنها من زمن لآخـــر عبر التاريخ، إلا أنها لا تتغير أبدًا فى مضمونها، ونجـــدها اليـــوم ـ علـــى مشارف القرن الحادى والعشرين ـ قد لبست ثوب العلم والمعرفة فى صورة تقنيات متقدمة تُمثل نتاج تطبيق جانبٍ من الأفكار الأساســـية فـــى العلـــوم الطبيعية، وما من سبيل للتقدم المادى اليوم إلا من خلالها..

من أجل هذا عزيزى القارئ نقدم لك هـــذا الكتـــاب، الـــذى اجتهـــدنا قـــدر استطاعتنا لننقله لك فى لغة سهلة سليمة مُدعَّمة بتفاصيل أوردناها بهـــوامش الصفحات ونحسب أنها ضرورية لإيضاح بعض النقاط، بالإضـــافة لملحـــق بالصور والرسوم الإيضاحية التى كان الهدف من اختيارها تقريب المســـافة

الزمانية والمكانية بيننا وبين تلك العقول المُلهَمة التى صاغت العلم عبر القرون، فى محاولة لعرض تاريخ وتطور الفكر العلمى حول الكون، والصعوبات التى صادفت الأفكار الأصيلة، من أجل تعميق فهمنا وإدراكنا للمفاهيم الأساسية للعلوم الطبيعية وتطبيقاتها المختلفة، وأيضًا تعميق إحساسنا بالجانب الإنسانى فى حياة أولئك النفر من صفوة العلماء وكيف جالت بخاطرهم الأفكار العظيمة حول الكون، لعل نُخبة من شعوب الناطقين بالضاد تطلع على الدنيا بجديد يُرسِّخ أقدامنا على درب العلم والقوة النابعة منه.

طارق ضيفُ الله ، ماهر حنا

تصدير

بقلم: ستيفين هوكينج

لقد كنت مصدر يأس لوالدى فى صباى؛ إذ كنت دائمًا أقوم بفك الأجهزة لأرى ما الذى يجعلها تُصدِر أصواتًا، وبالطبع لم يكن بإمكانى ـ عادة ـ جمع أجزائها مرة أخرى، إلا أننى شعرت بإمكان السيطرة على أى شىء ـ بطريقة أو بأخرى ـ إذا فهمت كيفية عمله، وأنا موقن من وجود الشعور نفسه لدى الآخرين: فنحن نجد أنفسنا فى عالم لا يلحظ وجودنا فى الغالب ولا يهتم به، بل ـ أحيانًا ـ يُعادى هذا الوجود صراحةً. لذا، لو أمكننا فك "اللوحة الأمامية" للكون والنظر خلفها فربما نصبح قادرين على فهم كيف تعمل تلك العجلات الصغيرة، أعنى المجرات، ولشعرنا ببعض التحكم فيما يجرى من أحداث، ولحسن الحظ فنحن غير مدعوين لإعادة تجميع الكون مرة أخرى بعد فك لوحته الأمامية!

إذا نحينا الدعابة جانبًا، فإنى أشعر أن ثمة نقطة أساسية هنا، فالعجز يعترينى إن تجولت فى مدينة غريبة ليس بمقدورى تكوين صورة لها، وجميعنا يحتاج بالفعل لخريطة ذهنية للعالم تُرينا أين نحن منه، وبالطبع ستحوى الصورة عدة طبقات، يُكَوِّن الوصف الفيزيائى فيها حجر الزاوية، الذى تعتمد عليه كل التراكيب الأخرى، وإذا ما تمت معرفة الأساسيات فستكون لدينا أداة لفهم التراكيب الأكثر تعقيدًا.

عادة ما يتم التعبير عن القوانين الفيزيائية التى تحكم الكون بالمعادلات الرياضية، وقد خلق هذا عائقًا دون الفهم لكثير من الناس، إلا أن المعادلات فى الفيزياء تشبه فى الواقع القوائم المالية بالنسبة للميزانية: فهى ذات أهمية فقط إن كنت محاسبًا يهتم بالتفاصيل، لكنها تصبح غير ضرورية لفهم ما يحدث فى عالم الاقتصاد بشكل عام. كذلك، يمكن شرح الأفكار الأساسية فى الفيزياء بالكلمات والصور، وأنا شخصيًا لا أحب المعادلات: فمن الصعب تتبع مسارات كافة العناصر فى ذهنك، كما إنى أجد صعوبة عند كتابتها (رغم استطاعتى ذلك على الكمبيوتر باستخدام لغة تُسمى: تكس)؛ لذا أبحث – دائمًا – عن طُرُق لمعالجة المشكلات بطريقة هندسية تُمكننى من رؤية الحلول "مرسومة"، ومع هذا ما تزال ثمة صعوبة أخرى: فمن العسير تصور الأجسام فى الأبعاد المكانية الثلاثة التى اعتدنا عليها، بالإضافة إلى بُعد الزمن، ودع عنك الأبعاد السبعة، أو أكثر، وهى أبعاد مَخفيَّة من الجائز أن تكون موجودة وفق نظرياتنا المُوَحَّدة عن كل شىء. وبشكل عام، ما يزال من الممكن تجاهل معظم هذه الأبعاد وتصور الأشياء فى بعدين أو ثلاثة فقط، بحيث يصبح بمقدور أذهاننا تخيلها؛ وبناءً على ذلك، أعتقد أن أى شخص يمكنه فهم القوانين والقُوى الأساسية التى تحكم الكون وتُشكِّله.

ترينا القوانين العلمية المكتشفة كيف أن حدثًا ما يسبب حدثًا آخر، فلنا أن نتساءل: ما الذى يحدث لو تتبعنا هذه السلسلة من الأحداث السببية إلى الوراء فى الزمن؟ هل هناك سبب أول، أم أن السلسلة ستستمر إلى ما لا نهاية؟ إن ذلك يشبه السؤال عن (البيضة أولاً أم الدجاجة؟). مع ذلك، كان الاكتشاف

المتميز، الذى تم فى نهاية القرن العشرين، هو تيقننا بالفعل من وجود حدث أول: الانفجار العظيم، الذى قد يشبه البيضة أكثر مما يشبه الدجاجة، ومع ذلك ليس كأى منهما. فقد ظهر كل من الكون والزمان للوجود أول مرة عند الانفجار العظيم، وذلك هو السبب الأول، فإذا استطعنا فهم الانفجار العظيم فسنعرف سبب ظهور الكون على صورته تلك. وبالرغم من اعتيادنا فكرة استحالة تطبيق قوانين العلم على بداية الكون، إلا أن التطورات الحديثة لتوحيد ركيزتى العلم فى القرن العشرين، وهما النظرية النسبية ـ التى وضعها "أينشتاين" ـ ونظرية الكَم، شجعتنا على الاعتقاد بإمكان معرفة القوانين التى يمكن أن تنطبق على لحظة بداية الكون. وفى هذه الحالة يمكن فهم كل شىء بالقوانين العلمية.. فإذا ما تم لنا ذلك ، فإننا ـ بطريقة ما ـ يمكننا السيطرة على الكون.

ستيفين هوكينج

كيمبريدج، ٢٨ يوليو ١٩٩٧

شُكر

سيكون من الغرور – إن لم يكن من العبث – ادعاء أنني وحدي من باستطاعته محاولة وضع صورة كاملة عن طبيعة الكون، ناهيك عن مخاطبة عامة الناس بشرح سهل يمكن فهمه. لقد بدأت بمعرفة قليلة جدًا عن مثل تلك الأفكار المثيرة، "كالأقزام البيضاء" و"الانفجار العظيم" و"الثقوب السوداء"، ويا للعجب! لم أكن إلا متشككًا صغيراً يعتبر هذه الأشياء نوعًا من الجموح الأكاديمي، وأنها لا تنتمي للأمور الأساسية في الصورة العلمية المركبة، وأن ليس من المفيد لمعظمنا الإيمان بمثل هذه الصورة المركبة عندما تظهر لنا بطريقة ليس لدينا أدنى فكرة عنها. إلا أن رغبة عارمة كانت لديّ في تعلم المزيد، علاوة على اقتناعي أن ملايين غيري يرغبون في فهم هذه الأشياء أيضًا.. لذا وجدُتني أقنع زميل دراسة منذ بداية الستينيات، "ستيفين هوكينج"، بضرورة قيامي بعمل حلقات تليفزيونية – ثم بالضرورة أن أكتب هذا الكتاب – اعتمادًا على ما سطَّرَه هو من قبل في كتابه "موجز تاريخ الزمن"، حيث أكدت ظاهرة نجاحه أن ثمة افتتانًا على مستوى العالم بعلم الكونيات، رغم اعتراف العديد من القراء – على استحياء – بأنهم لم يفهموا بالضبط كل شيء، فدفعني كل ذلك إلى القيام بمعالجة أخرى للموضوع.

يُعزى الكثير لدعم "ميشيل جاكسون"، مدير (بى بى سى٢) آنذاك، الذى كان على يقين بأنى سأجد طريقاً عبر متاهة الفيزياء الحديثة، التى تبدو غير قابلة للاختراق. ونتيجة لذلك خَلُصت فى النهاية بست حلقات تليفزيونية وثائقية. كما أمكن بالمساعدة الدءوبة من "سيمون سينج"، الذى يفهم العلم حقيقةً، الإعداد لعرض استطعت به إقناع المنتجين المساعدين للحصول على التمويل. كما أنفق "برايان ويت"، زميل "هوكينج"، الذى اشترك فى إنتاج "موجز تاريخ الزمن"، الساعات الطِوَال لمساعدتى فى تنقيح الأفكار قبل الطباعة، كما سُرَّ بها كل من "ميشيل أتويل"، المحرر المفوض لبرامج الحقائق فى (بى بى سى) آنذاك، و"بيل جرانت"، من نيويورك، لدرجة أنهما وافقا على إنتاج الحلقات. إننى مدين لهم جميعاً بالشكر.

حينما كنت أنتج الحلقات، أعطانى "باتريك أودين" و"ويليام ميللر" و"مارى فيلبس" مكتباً فى مؤسسة "شركاء أودين"، وشكَّلنا معًا فريق إنتاج موهوبًا عالى الكفاءة. ومن خلال "فيليب مارتين" و"ستيف دافيز" و"جوانا هيوود" و"دان جلوكمان" و"كاتى كوكس" و"جيشيا وايت هيد" و"كاتى جوين"، تم التخطيط لجمع الحقائق وخلطها بالخيال، الذى يُحول المعلومات الجامدة إلى مُتعة تعليمية، وبدونهم لم يكن من الممكن لى القيام بعمل البرامج التليفزيونية، وربما ما كنت تعلمت بشكل كافٍ لكى أبدأ كتابة هذا الكتاب، وإننى غير قادر على شكرهم كما يجب. ويجب ألا أنسى "سو مازى"، وكل العاملين مع "هوكينج"، الذين استجابوا بسرعة وكرم لكل طلب للمساعدة.

وفوق الجميع يتربع "ستيفين هوكينج" نفسه، الغنى عن التعريف، فقد أرسلت له بعض الملاحظات ليبدى أفكاره وتصويباته حولها، وكان منها ما كتبت: "..ستيفين هوكينج، المعترف به كأحد الرواد المرجعيين فى الثقوب السوداء"، إلا أن الأوراق المنسوخة قد أُعيدَت إلىَّ مدوناً بهامشها ملحوظات واضحة بخط "سو مازى"، ممثلةً لأمانة ستيفين العِلمية، حيث وُضِعَت علامة بحذف السطر الذى كتبته وأُضيف بدلاً منه "..ستيفين هوكينج، الذى شارك فى دراسة الثقوب السوداء". مهما حاول هو أن ينتقص من قدر نفسه، فإن ستيفين كان بلا شك مُلهِماً رائعًا لى، وإن امتنانى له لا يمكن التعبير عنه بما يكفى.

ديفيد فيلكين

مقدمة

البحث عن قائد للزورق

لم نكن هذه المرة حيث كنا نتقابل عادة، ثمانية ــ بمن فيهم أنا ــ من فريق "الريجبى" خريجى "أكسفورد" واقفين بصعوبة على سطح زورق الكلية القديم، الجميل، فى انتظار تجريب أيدينا لأول مرة فى التجديف.. كنا خليطًا غريبًا من القافزين المندفعين طِوال القامة، نتصدر الصف الأمامى، متماسكين بالكاد وغير لائقين رياضيًا تقريبًا، وفوق ذلك غير مؤهلين تمامًا.. كل ما كنا نشترك فيه القمصان الصوف ذات اللونين الأزرق والذهبى، ومع ذلك فقد توهمنا أن شخصًا ما سيحولنا، بطريقة ما، لطاقم يمكنه الفوز بالسباق.

سرعان ما تبين لى وقتها أننا لم نكن وحدنا، فقد وقف بمحاذاة مجموعتنا شخص أصغر حجمًا بكثير تميز بارتداء سترة بدلاً من قميص الريجبى، ونظارات دكناء كبيرة ذات حافة رفيعة، وقبعة غير معيبة من القش، فغمغمت لجارى: "من هذا؟"، فرد هامسًا: "هوكينج، ستيفين هوكينج.. إنه قائد زورقنا"، وتجرأ آخر قائلاً: "ياله من ولد لعوب حقًا، لكنه شديد الذكاء، بالصف الثانى قسم الفيزياء".

تذكرت بصعوبة أنى رأيت تلك القبعة القش ذات مرة فى جانب من الساحة الرئيسية للكلية، وأنى سمعت صوت صاحبها ذات مرة أثناء العشاء فى قاعة الطعام بالكلية؛ لكنى لم أعرف أكثر من ذلك عن ستيفين، ولم أحاول ذلك أثناء التجديف؛ إذ كان فى طرف الزورق وكنت فى الطرف الآخر وليس ثمة

وقت للكلام.. كنا قد تلقينا حوالى ثلاثة تدريبات قبل السباق وكان علينا أن نتعلم كل شىء فى ذلك الوقت، ولست متذكرًا الآن من كان مدربنا، وليس لهذا أهمية فى الواقع، لكن الرجل حاول إعطاءنا فكرة عما يجب عمله؛ إلا أننى فى قرارة نفسى – ومعى الثمانية الآخرون – اعتقدنا أن المدرب يعلم مُسبقًا أنه ليس بمقدورنا أن نؤدى أداء متميزًا. ستيفين فقط كان لديه الاستعداد ليفكر بشكل مختلف، فقد بدأ يصدر الأوامر بصوت عالٍ ويوجه الزورق رافضًا استسلامنا، وعندما حان يوم السباق الأول قام بإقناعنا بأننا ليس ميئوسًا منا على أية حال.

فى أكسفورد، حيث عُقِد السباق، لم تكن هناك حارات كافية بالنهر الضيق الممتد حتى يمكن للزوارق أن تسير متجاورة جنبًا إلى جنب، كلٌّ فى حارته؛ لذا كانت السباقات تصادمية، بحيث عندما يوشك أحد الزوارق على اللحاق بآخر فإنه يتعين على ماسك الدفة توجيهها بمهارة ليحدث صدمة مع الزورق الذى أمامه، ويُسجل هذا كتصادم، عندئذ يخرج كلاهما من السباق منسحبين إلى جانب النهر، وفى اليوم التالى للسباق يتبادل الاثنان مواقعهما فى ترتيب البداية.. وعلى ذلك، فخلال الأيام الأربعة للسباق يمكن للطاقم، الذى يبلى بلاءً حسنًا، أن يتقدم أربعة أماكن بالنهر.

أخذ فريقنا مكانًا متقهقرًا فى النهر، ورثناه من ثُمَانى العام المنصرم بالكلية، ومع طلقة البداية أقدم ستيفين بحماس على خطوة انتحارية وضعتنا – لفترة وجيزة – فى موقع متقدم عن الفريق الذى خلفنا، ومع ذلك لم نستطع اللحاق بالزورق الذى يسبقنا؛ إذ كان قد اصطدم سريعًا بالزورق أمامه وخرج

كلاهما من السباق. كان ستيفين يشد من أزرنا ويوجه الدفة بمهارة بحيث لا يصدمنا الزورق من خلفنا، الذى ما لبث هو الآخر أن توقف فجأة بعد أن لحق به زورق من خلفه وصدمه.. وبدت نبرة النصر فى صوت ستيفين، فقد عرف أننا أصبحنا مطمئنين وليس ثمة من يصدمنا، لا من أمامنا ولا من خلفنا. وبدأ باقى الطاقم يدرك ببطء ما يعنيه ذلك؛ إذ وجب علينا التجديف طوال مسافة السباق، وبالطبع لم يعد هناك مجهود نبذله لتحاشى صدمات الآخرين، ومن ثم تفادى الخروج من السباق، فحملنا ذلك على التخلص من الشد العصبى، إلا أننا بدأنا نفكر فى المسافة الطويلة التى مازالت أمامنا فى النهر. ستيفين فقط لم يكن لديه شيء من ذلك؛ إذ جعلنا نستمر حتى وصلنا لخط النهاية، منهكين تمامًا، وقد ضمن لنا ذلك أن نبدأ فى اليوم التالى للسباق عند النقطة نفسها التى انتهينا عندها، مع توقعنا تكرار ما بذلناه من جهد مرة أخرى.

لقد تعلمنا بسرعة.. فكى نتجنب ألم التجديف مرة أخرى تعمدنا أن يصطدم زورقنا مبكرًا فى الأيام الثلاثة التالية. وإننى أتذكر للآن الإحساس بالذنب تجاه ما فعلناه آنذاك، متأثرًا من أننا كنا سببًا فى إحراج ستيفين.. لكن سرعان ما تبخر كل ذلك فى دوامة حياة الطلبة. وكذلك تأثر اتصالى بستيفين. إلا أننى لم أنس أبدًا ذلك الشاب صاحب العزيمة فى قبعته القش ونظارته، ولن أنسى إرادة الفوز لديه مهما كانت المنافسة. (راجع الصورة رقم ١).

لم يكن سهلاً بعد ذلك أن ألتقى بستيفين مرة أخرى، فقد التحقت بالعمل فى (بى بى سى) كخريج تحت التدريب، وانغمست فى الإنتاج التليفزيونى. وكل ما عرفته عن ستيفين أنه التحق بكيمبريدج لنيل الدكتوراه فى الفيزياء النظرية، وبدأت فى التقاط القليل من أخباره من وقت لآخر، كان منها اكتشاف معاناته من مشاكل وراثية ومرض بجهازه العصبى الحركى، وسرعان ما تعين عليه أن يعرف أنه قد قُدِّر عليه فَقْد قدرته على التحكم فى عضلاته بالتدريج.

لقد كان هذا تشخيصًا مُحبِطًا يصعب بالنسبة لأى شخص التعامل معه، لكن رغبة ستيفين فى الفوز وعزيمته كانتا ترعيانه وتساعدانه فى هذه المحنة العصبية. ويبدو أنه قد سُمِعَ يقول ذات مرة: "إن مرضه كان بركة عليه"، فقد جعله يركز انتباهه على ما يمكن أن يصنعه فى حياته، فأدرك أن التحديات التى كان عليه أن يواجهها ستكون عقلية وليست بدنية منذ تلك اللحظة فصاعدًا.

يعرف معظم الناس القصة غير العادية عن نور العلم الذى قدمه ستيفين رغم التأثير الفظيع لمرضه. فقد اضطر أن يقضى حياته على كرسى متحرك، وفَقَد صوته بعد شق قصبته الهوائية، إلا أن عقله ظل كحد السيف، كما كان دائمًا. وبمساعدة الكمبيوتر ومُحاكى الصوت ــ المتصليْن بالكرسى المتحرك ــ أصبح ستيفين قادرًا على إكمال عمله الأكاديمى، فبحركات بسيطة من إصبعه، وبضغطة على مفتاح خاص يمكنه تحريك مؤشر على شاشة الكمبيوتر ليختار الكلمات الشائعة، بل وجملاً بأكملها، من قاعدة البيانات

الخاصة المُعدة على الكمبيوتر، ويمكنه ــ إذا رغب ــ التهجى حرفاً حرفاً؛ ثم بضغطة على مُحاكى الصوت يمكنه إعلان ما كتبه.. وبهذه الطريقة يستطيع أن يُطلق النِّكات الذكية وأن يكتب المحاضرات والكتب، وإذا أراد الكلام فإنه يضغط لتشغيل مُحاكى الصوت.

قد يظن البعض أن ذلك ربما أدى إلى كلام لا يُنبئ عن شخصية صاحبه، إلا أن ستيفين تعلم كيف يدبر أمر الكمبيوتر ذى النغمة الواحدة بمهارة شديدة ليفصح عن شخصيته بوضوح، ولتوفير الوقت يميل ستيفين لاستخدام جُمل موجزة وموجهة نحو النقطة التى يريدها، وإن كان يبدو فى البداية قليل الصبر أو غير مكترث، لكن سرعان ما تتكشف لك تلك القدرة العبقرية لفكره من خلال جملة ساحرة من هنا، أو فكرة لطيفة من هناك، تصل إلى النقطة الأساسية برشاقة، وفوق كل هذا، هناك دائمًا روح الدعابة.

أذكر عندما تم تقديم ستيفين لمجموعة متميزة من الحاضرين بمعهد "ماساشوسيتس" للتكنولوجيا، تغنى عميد المعهد بأهم إنجازاته، وعند إشارة البدء دخل ستيفين وناوَر بالكرسى المتحرك بكفاءة ليحتل موقعه بينما وقف الحاضرون ليستقبلوه بحفاوة بالغة، وبعد أن خمدت عاصفة التصفيق مرت لحظة صمت، وانتظر الحاضرون ظهور أولى لآلئ حكمته، وفى التوقيت المناسب ــ كعادته ــ أدار ستيفين مُحاكى الصوت ذا اللهجة الأمريكية، وفى أقل من عشر كلمات مَلَكَ على الحاضرين عقولهم وقلوبهم: ".. مساء الخير، أرجو أن تعجبكم لهجتى الأمريكية".

من السهل أن يكون إعجابك الفورى بستيفين بسبب عزيمته فى مقابل عجزه البدنى، فإنجازاته العلمية وحدها جعلته متميزاً بلا مراء، بغض النظر عن أى عجز طرأ عليه. وهو بوصفه أستاذًا للرياضيات يشغل "الكرسى اللوكاسيانى"(*) بجامعة "كيمبريدج" يتابع الخط الذى سار عليه من قبله بعض من العقول الذكية البارزة، منهم ـ على الأقل ـ السير/ "إسحاق نيوتن"، و"بول ديراك"، اللذان سيرد ذكرهما فى هذا الكتاب مثلما يرد فى أى تأريخ للفيزياء أو علم الكونيات، فمثلهما، قدم ستيفين إسهامات للعلم تضمن له مكانًا فى التاريخ. وبخلاف الكثيرين الذين تبوأوا أماكنهم فى فروع من العلوم غير المفهومة للشخص العادى والمشهورة بصعوبتها، عقد ستيفين العزم على جعل علم الكونيات مفهومًا لقاعدة عريضة من الناس، فقرر أن يكتب كتابه "موجز تاريخ الزمن" بدون الرجوع لتعقيدات الرياضيات التى يستخدمها المتخصصون، والتى تعتبر ركيزة أساسية لدراسة الكون. لقد ذكر فى مقدمة كتابه كيف أن أحدهم أخبره باحتمال فَقْد نصف قرائه فى كل مرة يذكر فيها معادلة رياضية، لذا قرر أن يسمح لنفسه بكتابة معادلة أينشتاين الشهيرة: (الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء) فقط، مُعرباً عن همه إزاء احتمال خفض المبيعات بنسبة خمسين فى المائة بسبب ذلك!

(*) فى الجامعات الإنجليزية يوجد نظام الكراسى، حيث يوجد أستاذ متميز لكل تخصص دقيق يتم تلقيبه "بأستاذ كرسى"، مثل كرسى الرياضيات البحتة والطبيعة النظرية أو كرسى الفلك الفيزيائى.. وقد كانت الجامعات المصرية تطبق هذا النظام حتى تم إلغاؤه عام ١٩٧٣. (المراجع).

ما كان له أن يقلق، فقد نجح الكتاب بشكل ملحوظ، وظل على قوائم أفضل المبيعات على مستوى العالم لعدة سنوات، كما ظهر فيلمان وثائقيان أو ثلاثة عن المؤلف الساحر، إلا أن أيًا منها فى الحقيقة لم يكن معنيًا بالعلم ذاته. وبوصفى رئيسًا للقسم العلمى بتليفزيون (بى بى سى) آنذاك كنت أبحث عن إطلاق مشروعات جديدة، لذا قررت أن أتقابل مع ستيفين مجددًا بعد أن قمنا بالتجديف معًا منذ ثلاثين عامًا تقريبًا.

عندما وصلت للمبنى غير العادى، الذى يضم قسمه بكيمبريدج، كنت فى غاية الانفعال؛ إذ رغم كل شىء كان ستيفين صحيح البدن فى آخر مرة رأيته فيها، ولم أكن قادرًا على توقع أى شىء.. ما كان لى أن أهتم، فقد أجلسنى فورًا عن يمينه بحيث أنظر من فوق كتفه على شاشة الكمبيوتر عندما يقوم بكتابة ما يريد قوله، ولمَّا كنا نحن الاثنين فقط بالغرفة جرى الحوار أسرع مما لو كان استخدم مُحاكى الصوت لينطق ما كتبه، ولربما جرفنى الانفعال فى بعض الأحيان مستنتجًا ما سيكتبه قبل أن ينتهى من كتابته بالفعل، بل أحيانًا لم يكن بمقدورى مقاومة ردود أفعالى أو الوثوب فرحاً حين كان توقعى يتفق مع ما كتبه، وقد علَّق ستيفين على قلة صبرى وتوقعاتى المُسبقة بطريقة حسنة، علاوة على ذلك فقد قلل من اندفاعى، بحيث إن أراد إكمال جملته قبل أن أنطق، كان ببساطة يشغل مُحاكى الصوت ليقول: "نعم" بطريقة رشيقة وجازمة، وقد كان لذلك أثر فعال.

مع نهاية لقاء العمل الأول قرر ستيفين أنه غير راغب فى تنفيذ أى برامج تليفزيونية أخرى عن (العقل العبقرى فى الجسد الكسيح)، ولكنه مهتم فقط

بالعلم كموضوع رئيسى، فأعلنته بموافقتى، وأشرت إلى احتمال عدم كفاية حلقة واحدة للموضوع، بل يجب أن تكون ست حلقات وثائقية لإمكان شرح كل تعقيدات موضوع الكون ببطء ووضوح كافيين.. لكن كيف لهذه الحلقات أن تُصاغ وتُقدم؟

لقد ذهبت مُسَلَّحاً بالفكرة نفسها التى سبق استخدامها فى مسلسل "أَلِيسْ فى بلاد العجائب"، حيث تسافر الشخصية من أحد معالم علم الكونيات لأخرى مُطلِقة كل الأسئلة الأساسية، فتتحدث أَلِيسْ نيابة عن الشخص العادى، إلا أن ستيفين لم يكن لديه الثقة الكافية بهذه الفكرة، حيث أراد أن يستخدم شخصية تاريخية ــ مثل "جاليليو" ــ كمستفسر رئيسى، وقد برهن ستيفين على أن معلومات جاليليو عن الكون تضارع معلومات الشخص العادى ــ فى زماننا ــ بشكل أو بآخر؛ وبناء على ذلك تُرينا الحلقات جاليليو وهو يضع الأفكار الحديثة تحت الاختبار بالنيابة عن المشاهد العادى. وتم الاتفاق على أن أذهب لأقوم بإعداد مسودة بالخطوط العريضة للحلقات ليراجعها ستيفين. (راجع الصورة رقم ٢).

سرعان ما احتوانى التحدى، فكتابة مسودة لستيفين كانت متعة لا نهائية تفوق متعة التغلب على صعوبة اتخاذ قرارات إدارية فى مؤسسة عملاقة مثل مؤسسة (بى بى سى). وتبينت بسرعة أننى تَوَّاق للعودة إلى الإنتاج والبُعد عن الإدارة. وبشكل أكثر تحديدًا، لم أكن أريد إعطاء هذا المشروع لشخص آخر يتولى الإبداع فيه، لقد كان ذلك أمرًا أردت أن أقوده بنفسى.

لقد أثبتت جاذبية صياغة أجوبة بسيطة عن أسئلة عميقة وأساسية أنها أمر لا يقاوم؛ أسئلة من مثل: لماذا نحن هنا؟ ما طبيعة الكون؟ كيف بدأ؟ أين ومتى سينتهي؟ إن اكتشاف إجابة سؤال تفضي فورًا لمجموعة أخرى من الأسئلة، وغالبًا ما تكون الإجابات مدهشة، إن لم تعزِ على التصديق، وبدلاً من أن يصبح الأمر سهلاً، ازداد تعقيدًا. فكيْ تفهم الثقوب السوداء وانحناء الزمان، عليك أولاً أن تفهم الجاذبية وميكانيكا الكَمِّ، وهما في حد ذاتهما من الصعب شرحهما دون الحاجة للرياضيات.. لقد بدا الأمر كمن يقوم بتقشير بصلة، بحيث كلما ظهرت له حقيقة كُشِفَت أخريات!

أخيرًا أشرقت الفكرة.. لقد كان عليَّ أن أبدأ من منتصف البصلة، لا من خارجها، فإن لم تكن تعرف شيئًا عن الكون فكيف لك أن تبدأ في كشف أسراره؟ إن معرفتنا على أية حال لا بد أن تكون قد بدأت من نقطة ما ثم نمت، خطوة خطوة، إلى تلك الدراسة الرياضية للكون التي نعرفها اليوم، فإذا كان بمقدور رجل غير متعمق في التخصص – مثلي – أن يقتفي هذه الخطوات، فمن المؤكد أن كل شيء سيبدأ في أخذ وضعه الطبيعي.

ساعتها عرفت ماذا يتعين على فعله، فبمجرد أن وافق ستيفين، ومنحتني (بي بي سي) بركتها بقبولها لتقاعدي المبكر عن العمل من أجل التفرغ لتنفيذ الحلقات وكتابة هذا الكتاب، أصبح كل شيء مُعدًا وفي مكانه الصحيح.. كان لدينا طريق نسلكه، وقارب لنجدف به، ومرة أخرى مع لمسة الخبرة لدى ستيفين وهو يقود الدفة، كنت جاهزًا لخوض النهر كمبتدئ، فقط قررت هذه المرة الوصول لنهاية الدرب مهما استغرق ذلك، ومهما كانت مشقة السباق.

الفصل الأول

الشمس والسماء والإلهام

إن تصور ستيفين هوكينج للكون ــ باعترافه ــ ليس شيئًا من ابتكاره، لكنه يعتبر فى الوقت الحالى آخر حلقة من الحلقات المُكَوِّنة لسلسلة التجارب والمشاهدات العلمية الدءوبة، التى صاغت ــ باطراد ــ صورة عن كل ما يجب استيعابه لوصف الكون بطريقة صحيحة. لقد كان هذا بحق صراع العقول النيرة عبر القرون.. ومع تعاقب الأزمان، اكتشف أصحابها أن كل حقيقة يتم استنتاجها من الأدلة بعيدة الاحتمال تسوقهم لمشاكل أكبر مما كانوا يصارعونه من قبل. لقد أدت حياة الصراع تلك، فتحًا وراء فتح، إلى تصور عن كون بدأ بانفجار عظيم، وربما انتهى بانسحاق كبير؛ كون يحتوى على ثقوب سوداء وأقزام بيضاء وثقوب دودية وجسيمات تحت ذرية تسمى "ويمبات WIMPs"، وأجسام فضائية ذات طبيعة خاصة تسمى "ماكوات MACHOs".. إنه كون من الخصوصية لدرجة أن كُتَّاب الخيال العلمى ما كانوا ليجرؤوا على تصوره. وكى نفهم الكون من منظور ستيفين هوكينج علينا أن نرجع للبدايات الأولى لعلم الكونيات، قبل أن ينضم هو نفسه لقائمة الفنانين المهرة الذين أضافوا لمسات ريشاتهم للصورة التى نشأت عبر التاريخ عن الكون.

سلاحف .. سلاحف حتى أسفل الدرك

من يا تُرى الذى بدأ فى رسم صورة للكون؟ وأين؟ البعض يقول إنه شخص من الصين، والبعض الآخر يزعم أنه واحد من البابليين، الذين تعيش ذرياتهم ــ الآن ــ فى العراق، لا أحد يعرف بالضبط من هو أول من قدم شرحًا علميًا لطبيعة الكون. على أية حال؛ يعتمد هذا على ما تعنيه كلمة "علمى". ويبدو أن البابليين اعتقدوا أن الكون عبارة عن جبل ضخم خرج من البحر وتغطيه قبة السماء من فوقه، كما اعتقدوا أن الشمس تدخل كل يوم من باب وتخرج من آخر، وصوروا النجوم على الأحجار واستخدموها فى التنجيم، وهذا موضوع ليس لدى علماء اليوم وقت ليضيعوه فيه. والسؤال الآن: لماذا تكون صورة ما عن الكون أسهل فى التصديق من أخرى؟ كيف لنا أن نكون على يقين من صحة فهمنا لطبيعة الكون، غير متوهمين ما عساه أن يكون؟

لقد تقبل الناس لزمن طويل أن تكون هذه الأسئلة خارج إدراكهم.. ومن السهولة تخيل ردود أفعال قاطنى الكهوف حين واجهوا الغضبة العظيمة للرعد والبرق فى قلب العاصفة الشديدة، أو جفولهم من الأمواج العاتية التى تتحطم على شواطئ المحيطات التى بدت لهم بلا حدود، ويبدو أنهم كانوا على قناعة أن مكانتهم لا تسمح لهم بأن يسألوا "لماذا؟"؛ إذ بدا واضحًا أن قوة عظيمة تجبرهم على التنحى جانبًا لينشغلوا فقط بالبحث عن مأوى يحتمون به فى مكان ما على الأرض. وفى زمن الحضارات الأولى بالتأكيد تمت عملية تسجيل الحياة اليومية والمعتقدات، التى كان فيها ــ دائمًا ــ مكان لعدد من

الأرباب والربات، الذين يقتسمون فيما بينهم السيطرة على السماء والبحار والأرض.. وإلى يومنا هذا مازلنا نتكلم عن "أمنا الأرض"، التى تغذينا وتطعمنا عند احتفالنا بأعياد الحصاد السنوية.

لذا، كان من الطبيعى أن يظل العمل فى حقل الكونيات أسير المعتقدات الدينية، بحيث يكون هناك ـ دائمًا ـ مكان للإنسان فى تسلسل الأشياء عند ذكر أى شرح للطريقة التى تطورت بها علوم الكونيات، وعليه أن يحمد دور الأرباب، وليس له أن يجرؤ على تحديهم! فى ظل هذه القيود بدأت التفسيرات فى الظهور.. كانت هناك عبر القرون أفكار خيالية، جميلة، ومفصلة غالبًا، إلا أنها نادرًا ما كانت تؤسس على ما يمكن أن نسميه مدخلاً علميًا، وفى"موجز تاريخ الزمن" ذكر ستيفين هوكينج أحد هذه التصورات: الأرض فيها عبارة عن طبق مسطح قائم على ظهر سلحفاة، السلحفاة بدورها قائمة على برج لا نهائى من السلاحف! وإن لم تكن منتميًا لإحدى الطوائف الدينية التى أخرجت لنا تلك الصورة الحية، التى ربما كان أصلها من الهند أو أى من البلدان القريبة من الشرق الأقصى، فإن لك أن تتعجب: كيف يمكن لأحد التوصل لمثلها؟! لكن ـ هل هذه الصورة حقًا أقل جدارة من التصور القائل بأن الكون بدأ بانفجار من لا شىء على الإطلاق ثم تمدد لمليارات من الدوامات الملتفة، التى تحوى بدورها ملايين من كرات نارية من الطاقة المتفجرة، والتى توجد أرضنا حول واحدة منها ضمن تسع كرات دوارة؟ هل يتعين علينا أن نقبل هذه الصورة لمجرد أن الحسابات الحديثة للعلم تطلب منا ذلك؟

إن كان قرارك لتقبل الصورة التى تفضلها ليس ببساطة مسألة تتعلق بالعقيدة التى تؤمن بها، فبالطبع سيُعوزِكُ الدليل، فالعلم يسعى لفصل الحقيقة عن الخيال عن طريق إقامة الدليل. المسألة بسيطة، لكن الممارسة فى علم الكونيات ــ على الأقل ــ تُعَد أمرًا عسيرًا. فكى يتم قبول فكرة أو نظرية قد تمت برهنتها علميًا، يجب أن تُختبر عدة مرات عمليًا، ولا بد أن تتوافق النتائج فى كل مرة مع النظرية المقترحة. مثال ذلك: لو تصورت أن الضغط والحرارة ــ معًا ــ يحددان متى تتحول المياه إلى بخار، فعليك القيام بتجارب تكفى للبرهنة على ذلك. لكن ــ مع الأسف، فالتجارب التى يجب القيام بها لاختبار صحة أفكار معينة عن الكون ليست سهلة التصميم.. فالفكرة القديمة عن القرص القائم على ظهر السلحفاة لا يمكن لشخص ما خلال فترة حياته أن يرتحل، من البقعة الصغيرة التى يحيا عليها البشر، كى يصل إلى حافته، وحتى إن استطاع عالم مثابر قوى الملاحظة أن يصل إلى هناك، فهل سيمكنه أن يُحدِّق من فوق الحافة ليرى إن كان ثمة سلحفاة أسفل القرص، ودع عنك البرج اللانهائى من السلاحف؟! إن التفكير بهذه الطريقة يرينا كيف يستطيع الخيال أن يصل، بلا جهد، لأفكار عن شىء بضخامة الكون، تاركاً العلم المؤسس على التجربة بلا حيلة.

عندما يعقب الليلَ النهارُ

تقدم ضخامة المشكلة سببًا قويًا للإعجاب ببراعة وبصيرة أولئك الذين باستطاعتنا القول بصدق إنهم علماء الكونيات الأوائل والحقيقيون، لم يكن

لزامًا عليهم أن يتخلوا عن معتقداتهم فى أربابهم ليبدأوا شرح الطريقة التى يعمل بها الكون، بل أخذوا على عاتقهم ببساطة القيام باستنتاجات حريصة من الأشياء التى رصدوها ولاحظوها بالفعل، فالنهار – دائمًا – يعقب الليل، والشمس لها السيادة على القمر والنجوم، وعلى العموم تبدو النجوم فى أماكنها ذاتها كل ليلة. كذلك، تعلم قدامى الإغريق من البحَّارة الاعتماد على مواقع النجوم للاهتداء بها وهم على متون سفنهم، وعرفوا أنه مهما كان عُتوّ العواصف والأمواج التى تخلقها الأرباب من وقت لآخر، فإنهم – لسبب ما – قد سمحوا لآلية الكون أن تعمل بطريقة منتظمة من الممكن التنبؤ بها؛ بل لقد حدث أكثر من هذا.. إذ قام الإغريق، مُساقين بعقولهم الفضولية ومستخدمين مهاراتهم فى الرصد الدقيق، بمحاولة الكشف بدقة عن عمل هذه الآلية، ويشيد ستيفين هوكينج "بأرسطو" كواحد من أوائل علماء الكونيات، إلا أن طريقته كانت واحدة من مدارس عديدة فى الفلسفة فى عالم الإغريق القديم، الذى كان يحاول كشف أسرار الكون.

لقد وقعوا فى أخطاء – يمكن تبريرها عادة – إذ لم يكن هناك شيء أكثر ثباتًا من الأرض تحت أقدامهم. كذلك كانت فكرة البابليين عن الأرض الثابتة والسماء – كسقف وقبة متحركة – معقولة ليس فقط بالنسبة للإغريق وإنما لكل البشر آنذاك ولمدة ثلاثة آلاف سنة أخرى، واحتضن أرسطو فكرة الأرض الساكنة بسرعة ككل الناس؛ ولأسباب غامضة تخيل أن الحركة الدائرية أكثر كمالاً، وأن الأرض فى المركز يدور حولها كل شيء، بيد أنه لم يستطع التوصل لطريقة يختبر بها أفكاره بشكل علمى، وتُرك الأمر

لآخرين ليجمعوا الأدلة العلمية عن طبيعة الكون من القليل الذى أمكنهم رصده بالعين المجردة.

العصىّ والظلال

ادعى البعض أن الإغريق لاحظوا توزيع النجوم نفسها فى سماء الليل حين شوهدت من بلدة "ساموز" ومدينة "الإسكندرية" فى الوقت نفسه، مع اختلاف فى مواقعها، ومن غير الواضح لنا كيف تم إحضار الصورتين معًا من مكانين متباعدين هكذا؛ لكن الإغريق كانوا بحارة عظامًا يسافرون بانتظام لمسافات كبيرة. أيضًا كان هناك ادعاء بأن الرياضى الإغريقى "إيراتوستينيس" قد لاحظ أن عصًا مغروسة فى الأرض سوف تلقى بظلال مختلفة الأطوال أثناء الأوقات المختلفة للنهار، فإذا كانت الشمس متعامدة فوق الرؤوس مباشرة فلن يكون هناك ظل للعصا، لكن عند الشروق والغسق سيكون الظل أطول ما يمكن، حيث تكون الشمس منخفضة فى السماء وتعلو فوق الأفق بالكاد على جانب من جانبى العصا. ومن المعترف به ـ تاريخيًا ـ أن إيراتوستينيس قد تابع، بأسلوب ما، ظل عصوين لهما الطول نفسه، إحداهما عند أسوان والأخرى فى الإسكندرية أثناء الوقت ذاته من النهار.. ربما كان له صديق يعاونه؛ أو ربما سافر بنفسه للمدينتين وقام بالرصد فى ذات الأوقات فى أيام مختلفة، على أية حال، ليس من المهم معرفة كيف تسنى له ذلك، إلا أن ما لاحظه تمثل فى اختلاف طول الظلين فى الوقت نفسه من النهار.

ساعتها أصبح لدى إيراتوستينيس رؤية واضحة، فحيث إنه قد وضع كل عصا لتكون عمودية على سطح الأرض؛ لذا إن كانت الأرض مسطحة فستكون كلتاهما موازية للأخرى، ولأن الشمس بعيدة جدًا، فمن المفترض ــ أيضًا ــ أن أشعتها ستسير متوازية بالنسبة للعصوين، ولك أن تتوقع فى حالة أن الأرض مسطحة، أن أشعتها ستسير متوازية بالنسبة للعصوين، وبالتالى يصبح للظلين الطول نفسه فى ذات الوقت من النهار فى أى يوم.

لقد كان هذا تطبيقًا بسيطًا لرياضيات "إقليدس": الهندسة الأولية. فعلى الأرض المسطحة حين تكون الشمس عمودية على إحدى العصوين وبلا ظل، لك أن تتوقع ــ أيضًا ــ أن تكون عمودية فوق العصا الأخرى، وبالمثل لن يكون لها ظل.. إلا أن ما رصده إيراتوستينيس أظهر أنه عندما تكون الشمس عمودية على إحدى العصوين وبلا ظل، فإن الأخرى يكون لها ظل واضح. لقد أظهرت بياناته المسجلة بدقة أن الظل الناتج من كلتا العصوين له ــ دائمًا ــ طول مختلف فى أى وقت محدد من أوقات النهار. ثمة سبب وحيد لذلك، فرغم أن العصوين قد وُضِعتا بشكل عمودى على سطح الأرض، إلا أنهما فى الحقيقة غير متوازيتين. ولن يحدث هذا إلا إذا كان للأرض سطح منحن. للإنصاف، لم يكن هذا بالاكتشاف المبهر، فالإغريق كان لديهم اعتقاد فى انحناء سطح الأرض بسبب اعتيادهم على حركة القوارب، فالسفن كانت تُرى من بُعد ترتفع فى الأفق؛ فكيف يحدث هذا إلا إذا كان سطح الأرض منحنيًا؟!

ربما كان ما يميز عمل إيراتوستينيس أنه استخدم الرياضيات والسببية ليصل إلى رؤيته، حيث خلط ملاحظاته الدقيقة مع الفكر النظرى المنضبط ليؤسس

طريقة يمكن بها ـــ علميًا ـــ دراسة الكون. وهذه بحق ذات الطريقــة التــى مازلنا نستخدمها إلى اليوم.. تقبل الإغريق ذلك على الفــور، فقــد تمســكوا بمعتقدات دينية عميقة لمعنى الكرات والدوائر، فالنظرية التى تدعى كرويــة الأرض نظرية تدعى أن الأرض كاملة؛ وهذا بالضبط ما يبــدو أن تجربــة العصوين التى قام بها إيراتوستينيس قد أكدته، علاوة على ذلك فإن نظريتــه تشرح المظهر المختلف للسماء أثناء الليل فوق ساموز والإسكندرية، كما أنها تؤكد ما رصده أرسطو أثناء خسوف القمر، حيث قال: "لو أن للأرض شكلاً منحنيًا خلاف الشكل الكروى لما ألقت ظلاً دائريًا على القمر". بــل عنــدما أعيدت تجربة العصوين مع بعض المشاهدات الأخرى، تأكــد ـــ دائمًــا ـــ الشىء نفسه. كان هذا ما نسميه الآن علِماً أساسيًا.. لقد أثبت إيراتوســثينيس والإغريق القدامى بشكل علمى أن الأرض كروية.

لم يتوقف إيراتوستينيس عند هذا الحد. فقد برهن أنه بالإمكان رســم خــط تخيلى يمتد من كل عصا إلى عمق الأرض، بحيث يكون مركز الأرض عند النقطة التى يتقاطع فيها الخطان، وباستخدام الهندسة الإقليدية مــرة أخــرى أمكنه حساب الزاوية بين الخطين، فعندما لا يكــون هنــاك ظــل لإحــدى العصوين تكون هذه الزاوية مساوية للزاوية التى تصنعها العصا الأخرى مع الخط الواصل من قمتها إلى قمة ظلها، وقد يبدو هذا أمرًا معقدًا فى صورته المكتوبة، إلا أنه سهل الإيضاح بالرسم. (راجع الشكل رقم ٣).

يبدو أن إيراتوستينيس قد عرف ـــ أيضًا ـــ المسافة بين الإسكندرية وأسوان (بعبارة أخرى، المسافة بين العصوين)، وبالتالى عرف طول القوس الصغير

من الدائرة المقابل للزاوية فى مركز الأرض، التى قام بحسابها من إحدى العصوين وظلها؛ ومن خلال معرفته لتلك المسافة وللزاوية المقابلة لها أمكنه حساب باقى طول الدائرة التى تلف الأرض بكاملها، وبهذا فهو لم يصل فقط لإثبات كروية الأرض، بل وصل لطريقة لحساب محيطها، وكانت نتيجته قريبة من الرقم الذى باستطاعتنا حسابه اليوم.

تناغم الكرات

كانت تلك خطوة أساسية للأمام، فقياس محيط الأرض أظهر مقدرة الرياضيات على قيادتنا إلى فهم للكون أبعد بكثير مما ندركه من الرصد والملاحظة فقط؛ ولفترة، وبقيادة "فيثاغورث"، ذهبت فلسفة الإغريق لبعيد عن طريق عجائب الرياضيات، فقد قيست المسافة بين الأرض والقمر، وبين الأرض والشمس (ومع الأسف كانت النتائج بعيدة ــ تمامًا ــ عن الأرقام الحقيقية، إلا أن الطُرُق طُوِّرَت وظلت باقية لقرون). وذاعت مبادئ الرياضيات الإغريقية بشكل كافٍ؛ إلا أن نقص دقتهم فى القياس أطاح بهذه المبادئ.

لقد رأى فيثاغورث الرياضيات فى الموسيقى، وتصور أن الأشياء جميعها يمكن وصفها بدلالات صيغ رياضية، ثم اقترح نظرية عامة أطلق عليها "تناغم الكرات"، استخدم فيها الدقة العلمية للرياضيات لدعم معتقدات الإغريق التقليدية عن كمال ومثالية الكرات والدوائر، ورغم ذلك انتهت ــ مثل كثير من المحاولات التى استخدمت الوصف الرياضى ــ إلى أرقام قبيحة غير

كاملة (وليس إلى أرقام بسيطة كالتى تصور فيثاغورث أنها توجد فى أصل كل الأشياء)، فتضاءلت تلك المثالية بعض الشيء.. وبرغم ذلك، فتحت الرياضيات طريقاً للإنسان ليكتشف الكون علميًا وليذهب لأبعد مما يمكن للعين المجردة أن تراه.

كانت هناك فوق ذلك حقائق تم رصدها ولم يكن من السهل التوفيق بينها وبين التفسير الرياضى، إحداها كان ذلك الصدع فى التكوين المثالى لسماء الليل.. فقد أشار الفلكى الإغريقى "هيبارخوس" إلى عدم احتفاظ بعض النجوم الساطعة بموقع ثابت فى السماء، بخلاف معظمها. تلك "النجوم الجوالة" بدت كما لو كانت تتحرك فى اتجاه ثم تعود مرة أخرى، كما أنها تظهر أكثر سطوعًا ثم أكثر إعتامًا من وقت لآخر، فهل كان هذا مثالاً آخر لعدم انتظام يعارض رؤية فيثاغورث عن التناسق الكامل بالكون؟

لقد ظل مفتاح الحل لما رآه هيبارخوس باقيًا فى وصفنا للكون حتى اليوم، فالكلمة الإغريقية: Planetos، ومعناها "المتجول"، ظهرت فى الاسم الذى نعطيه "للنجوم" التى رصدها هيبارخوس، والتى اتضح لاحقًا أنها ليست نجومًا، بل كواكب تتجول فى السماء، ومن ثم يجب وصف حركتها فى سياق صورة الكون، التى بدأت نوعًا ما فى الظهور. ولقد شوهد منها فى تلك الأيام خمسة بالعين المجردة: عطارد، الزهرة، المريخ، المُشترِى، وزحل. ولئن كانت الأرض كروية بالنسبة للإغريق، إلا أنهم شعروا بها ثابتة وصلبة تحت أقدامهم وهم يشاهدون الحركة فى السماوات، فهل يا تُرى ثمة صياغة

رياضية للطريقة التى يمكن بها للشمس، ونجوم سماء الليل، والنجوم الجوالة، وغيرها، أن تتحرك جميعًا حولنا؟

إن الرصد المضنى فى العديد من الليالى قد مكَّن الإغريق من رسم المسارات التى تأخذها الكواكب. واكتشفوا على الفور أن العديد من هذه المسارات منحنٍ: فهل هذه المسارات تشكل أجزاء من دوائر؟ لقد ناشد "أفلاطون" كل مدارس الفلسفة الإغريقية أن تُعمِل عقولها لوضع وصف لنظام من الدوائر الكاملة يشرح مسارات "الجَوَّالة" الشاردة. فإذا كانت الكواكب، ومعها الشمس والقمر، تدور حول الأرض فسينتصر مفهوم التماثل وسيكون بالإمكان الإبقاء على الاعتقاد فى كمال الكون، وسيصبح الأمر كما تخيله أرسطو بالضبط، وإلا فما هى الحقيقة؟

مدارات داخل مدارات

ظهرت بالفعل عدة فروض ذكية؛ اقترح أحدها أن لو كانت الأرض ليست بالضبط فى مركز مدار الكوكب، فسيكون الكوكب بالتالى عند نقطة ما — أثناء دورانه — أقرب ما يكون للأرض؛ وفى النقطة المقابلة سيكون أبعد ما يكون عنها، وسيوضح هذا مسألة التغير فى اللمعان، إلا أنه لن يعلل تغير اتجاه حركة الكوكب عبر السماء. تمثل التفسير الآخر فى احتمال وجود حركات دائرية أدق أثناء دوران الكوكب فى دائرة مركزها الأرض، أُطلِق عليها "الدوائر الفوقية"، وتضمنت أن الكوكب له مدار صغير حول نقطة مركزية، وفى الوقت نفسه يدور حول الأرض فى دائرة كاملة، ومن ثم فإن

الكوكب سيكون على مسافات مختلفة من الأرض لتعليل التغير فى اللمعان، بالإضافة أيضًا لإمكانية عودة الكوكب إلى النقاط نفسها، التى مر بها فى المسار فى وقت سابق.. لكن هذا النموذج اضمحل هو الآخر، إذ لم تتفق أى من مدارات الكواكب التى تم رصدها مع تصور كهذا كى تصبح النظرية مقنعة.

أخيرًا، وفى القرن الثانى قبل الميلاد، بنى العبقرى الفلكى "بطلميوس" نموذجًا معقدًا تضمن كلتا الفكرتين. لقد نصت فكرته على أن الكواكب تدور فى مدارات فوقية وأن الأرض ليست بالضبط فى مركز مدار الكواكب، وعقب إعلان هذا المبدأ رسم بطلميوس نماذج لمدارات الكواكب الخمسة المعروفة وللشمس والقمر حول الأرض. بالإضافة لذلك، جعل بطلميوس من حولها جميعًا غلافًا يشكل الكرة الخارجية، التى تحوى النجوم الثابتة، ثم وضع الأرض على مسافات مختلفة من مركز المدارات السبعة، وأضاف مدارات فوقية لكل منها، وبهذه الطريقة أمكن إعادة صياغة قضية تغير اللمعان والحركة الشاذة للكواكب كما نراها من الأرض. وبدا أخيرًا كما لو كان أرسطو وفيثاغورث وأفلاطون قد توصلوا لكل ما نشدوه، فالكون يمكن وصفه بدقة فى صورة كرات ودوائر.

إلا أن الذى فشل بطلميوس وغيره فى اكتشافه لفترة من الزمن تمثل فى إمكانية جعل أى مدار يتفق مع مثل هذا النموذج، بغض النظر عن شكله الحقيقى، سواء أكان دائرة أم أى شكل منحنٍ آخر. مثال ذلك: لو استغرق الكوكب فترة أطول ليكمل مداره بشكل أكبر مما تسمح به الدائرة، فمن

السهولة بمكان أن ندُس الوقت الزائد فى عدد من الحلقات الدائرية على طول مساره، بحيث يتعين علينا فقط أن نضبط حجم الحلقة لتناسب الزمن المسموح به.. إلا أن فكرة مركزية الأرض الثابتة، التى يدور حولها كل شىء، كانت مقنعة جدًا لدرجة أن هذه الصورة عن الكون ظلت باقية لقرون.

مع كل هذا، ثمة مشكلة رئيسية بقيت فى نموذج بطلميوس؛ إذ لكى تجعل مدار القمر يتفق مع الصورة ككل، يجب أن يكون أقرب للأرض بنصف المسافة الفعلية بينهما فى أوقات عنه فى أخرى. وهذا يعطينا انطباعًا بأن القمر سيبدو بضعف حجمه فى أيام عنه فى أُخَر. من ثم ألقت تلك المشكلة بظلال الشك حول صحة نموذج بطلميوس.

ربما لم تكن هذه أُولى النماذج العلمية عن الكون، لكنها كانت الأساس الذى انبنى عليه فهمنا المستقبلى له. كما كانت لها الميزة العظمى فى عدم إهانة أحد، فمعظم الديانات فى ذلك الزمن يمكنها أن تجد فى سياق معتقداتها مكانًا لكون مُركب من الكرات التى تدور حول كرات أخرى، وعلى كل فإن ذلك سوف يُقوى ويدعم قبول الدين عندما يظهر محتضنًا للحقائق التى أسسها العلم. ولو أن الرب ــ أو الأرباب ــ قد خلق الكون، فإن هذا النموذج العلمى ببساطة يصف طبيعة هذا الكون وعمله..

أولى درجات السلم

إن حقيقة انتهاء أمر نموذج بطلميوس بالفشل لم تكن محرجة، فقد تعين على العلم بعدها القيام بصياغة الفرضيات واختبار صمودها مع الزمن، حيث

يصبح لهذه الفرضيات قيمة بناءً على طول المدة التى تظل فيهـــا التجـــارب والمشاهدات تدعمها. والعلم لا يمكنه أن يعِد بحقائق خالدة؛ بل إنه يقوم فقط بحذف الفرضيات الزائفة لِيُقر ما قد يبدو فى وقته التفسير الأفضل للواقـــع. ومع ما ظهر من قصور فى بعض نظريات الإغريق، إلا أنهم قد نجحوا فى وضع الإنسان على أولى درجات السلم الذى قادنا إلى الطريق الذى ندرك به الكون اليوم، وبدونهم لم يكن بمقدور ستيفين هـــوكينج أن يضـــع تصـــوره ونموذجه عن الكون، فقد سبقه بطلميوس وهيبارخوس وإيراتوستينيس فـــى وضع صورة علمية عن الكون ظلت لفترة أطول من غيرها، صورة اعتمدت ـــ فقط ـــ على ما ترصده العين المجـــردة، وبعـــض التجـــارب بالعصـــى والظلال.. وعلى العبقرية بعيدة الأغوار للعقل الإنسانى.

الفصل الثانى

تعقيدات القرون الوسطى

قبلت الكنيسة المسيحية نموذج بطلميوس عن الكون كما قبلته ديانات العـالم القديم، وعقب وفاة المسيح سادت الديانة المسـيحية بسـرعة علـى كافـة المعتقدات فى أوروبا، وبشَّر الكتاب المقدس بوضوح أن الرب قد خلق العالم، وخلق رجلاً وامرأة ـ آدم وحواء ـ على الأرض، التى تقع فى مركز كـل شيء، وتوافق هذا ـ تمامًا ـ مع نظرية مركزية الأرض فى الكون، التـى وضعها بطلميوس.

باطراد، أصبحت الكنيسة النصير الوحيد للعلم، وكانت معرفة القراءة والكتابة مطلوبة لدراسة الكتاب المقدس، والكنيسة فقط كـان باسـتطاعتها تـدريس القراءة للناس وتعليمهم، ومن ثم تعين على راغبى الدراسة والتعلم الحصول على دعم الكنيسة، وفى الوقت نفسه تعُولَهم الكنيسة وتمثـل السـقف الـذى يتجمعون تحته. كان هذا يعنى أن يصبح العلماء كهنة أو رهبانًـا متفـرغين لدراسة العلم ونشر تعاليم الكنيسة. وبلا تردد علموا الناس قصة خلق الـرب للعالم كما جاء فى تصور بطلميوس عن الكون.. لقد كان العلم والدين شـيئًا واحداً فى تلك الأيام.

ثورة كوبرينيكاس

ليس من العجب إذاً أن يصبح تحدى نموذج بطلميوس للكون غير ممكن حتى القرن السادس عشر. فى البداية، وافق النموذج تعاليم الكنيسة بشكل جيد تمامًا ولم تكن هناك – على أية حال – تقنيات متاحة لتطوير عمليات الأرصاد الفلكية، إلا أن أفكارًا ذكية قد بدأت فى الظهور. فقد ازدادت قناعة القس البولندى "نيكولاس كوبرينيكاس" بأن مدارات الكواكب، التى افترضها بطلميوس تحتاج للضبط مع الدوائر الفوقية، واكتشف أن بإمكانه حذف العديد منها إذا جعل من الشمس مركزًا لكل شيء بدلاً من الأرض. لقد كان منتبهًا – تمامًا – أن هذا سيبدو هرطقة بالنسبة للكنيسة المقتنعة بأن الرب قد خلق الإنسان على الأرض فى مركز الكون، لذا تطلب الأمر منه شجاعة كبيرة لينشر أفكاره فى عام ١٥٤٣، ويبدو أنه قام بجس النبض قبل نشره أفكارَه، حيث وزع تصوره عن الكون دون إعلان أنه صاحبه، ثم نسبه لنفسه فقط قُبيل إدانته؛ إذ كان – ساعتها – على فراش الموت، وحتى فى ذلك الوقت لم يستطع أحد إقناعه بالنشر سوى ناسخه المدعو "ريتيكس".

كان من المدهش تأخر رد فعل الكنيسة، الذى يرجع ببساطة لكونها لم تأخذ كلام كوبرينيكاس على محمل الجد. ورغم أن تصوره قد بسَّط بالتأكيد نموذج بطلميوس، إلا أنه كان يحتوى على قصور خطير؛ إذ مع دوران الكواكب حول الشمس فإن حركتها المرصودة تختلف عن المسارات الدائرية التى افترضها كوبرينيكاس، وبذلك فهو قد طَوَّر الحلقات الدائرية التى ابتكرها

بطلميوس، ولكن بظهور عيب آخر. ولم يُعكر هذا صفو الكنيسة؛ إذ لم يكن ذلك التطوير كافيًا لتهديد نظام مُؤسَّس منذ مئات السنين.. وإن كان كوبرنيكاس قد فشل فى إثارة اهتمام الكنيسة، فقد نجح بالتأكيد فى زيادة اهتمام غيره من العلماء.

المفكر وجامع المعلومات

أحد هؤلاء المفكرين كان "يوهانيس كِبْلر"، الفلكى الألمانى الذى استقر فى مدينة "براغ". لقد كان لديه فرصة قليلة لأعمال الرصد، إلا أنه كان عبقريًا فى التفكير النظرى يبذل جهده فى محاولة للوصول لإجابة عن السؤال: لماذا يتعين على أى جسم سماوى أن يدور حول آخر؟ وخلُص إلى نتيجة مُفادها أن ثمة قوة مغناطيسية تعمل، فإذا ظلت ثابتة فإنها ــ على الأقل ــ ستُبقى أحد الأجسام على بُعد ثابت من الآخر، وبالتالى تصنع مسارًا دائريًا، إلا أنه لم يكن سعيدًا بفكرة تأثير مثل هذه القوة عبر تلك المسافات الشاسعة.

لابد أنه أصبح أكثر إثارة عندما انطلق إلهامه التالى؛ إذ كان لديه تصور مُفاده أن المدار البيضوى، وليس الدائرى، قد يعطى معنى لتصور كوبرنيكاس عن الكون. بمعنى آخر، إذا كان كل شىء يدور حول الشمس وليس حول الأرض، وإذا كانت المدارات بيضوية الشكل دائمًا، فربما كان من المستطاع لكل كوكب فى السماء أن يتبع مسارًا مباشرًا دون الحاجة لمدارات فوقية معقدة أو أى عمليات ضبط أخرى، وسيكون من الممكن وصف حركة هذه الكواكب بكفاءة عن طريق مسارات أنيقة وبسيطة. إلا أن

فكرته تلك كانت ستجعل نظرية الدوائر الكاملة، التى اعتقد فيها كل النـــاس كأساس للمـــدارات، فكرة لا معنى لها، علاوة على أنها ستدمر نظريته عن القوة المغناطيسية. لقد كان السبيل الوحيد أمامه للتقدم أن يجمـــع معلومـــات جديدة وأرصادًا أكثر دقة عن المدارات الصحيحة للكواكب.

سمع كِبْلر عن شخص يُدعى "تيخو براهى" بمقدوره تقديم المساعدة، لقد كان أكبر سنًا من كِبْلر ومشهورًا بالفعل بسبب أرصاده الفلكية، ومتبوئًا لمكانـــة قوية فى البلاط "الدانمركى"، حيث كان من عادة الملوك الأقوياء فى أوروبـــا تعيين الفلكيين والرياضيين كمستشارين لهم، خاصة فى أعمال التنجيم، التى ربما ساعدت الملك فى صنع القرارات السياسية، وغالبًا ما كانـــت أعمـــال التنجيم هذه تدعم رجال الحاشية ذوى النفوذ فى حـــرفتهم العلميـــة. وهكـــذا أعطى ملكُ الدانمرك تيخو براهى جزيرة يرصد منها السماوات، كمـــا قـــام بتمويل بناء أدق أجهزة للرصد صُنعت فى ذلك الوقت (والتى لم تكن ســـوى أجهزة الإغريق القدامى، بعد تحسينها قليلاً، من بعد تجاربهم بالعصىّ علـــى الأرض)، وسمع كِبْلر أن براهى يرسم خريطة للسماوات بطريقـــة منهجيـــة صانعًا بذلك رصدًا أكثر دقة عن ذى قبل.

توجد عدة روايات لما حدث بعد ذلك، أكثرها إثارة ربما كان ملفقًا، فالحقيقة ــ عادة ــ أكثر جفافًا بحيث لا يتقبلها الناس.. ووفق أكثر الروايات إثـــارة، قرر كِبْلر مكابدة رحلة طويلة شاقة عبر أوروبا ليقابل تيخو براهى ليرى إن كان ما تم رصده يدعم فكرته عن المدارات البيضوية أم لا.

إن صحت الرواية، فإن كِبْلر أصابه اليــأس بمجــرد وصــوله، فــالفلكى الدانمركى رفض بإصرار مقابلته، ربما خوفاً من قيام كِبْلر بإعلان بعــض الحقائق العظيمة عن الكون دون ذكر لأعماله، وحسب تلك الروايــة يمكــن النظر إلى براهى كراصد شديد الحرص غير مُلهَم فى تفسير بياناتــه التــى رصدها؛ إذ لم يكن باستطاعته مواجهة احتمال فشله بالإلمام بشىء ذى قيمة ربما يكون كِبْلر قد توصل إليه دون القيام بأية أرصاد.

يُقال إن كِبْلر عاد لوطنه صفر اليدين بعد رحلته الطويلة، وظل براهى يكدح فى أرصاده دون إدراك لأهميتها؛ وأخيرًا واتته فكرة، أنه ربمــا إذا أعطــى كِبْلر بيانات عن كوكب واحد فسيمكنه اكتشاف ما قد يفعله بهــا، وبالتــالى سيكون بإمكانه تفسير حركات الكواكب الأخرى، وبهذه الطريقة ربما سيُعزى الفضل لكِبْلر فى فهم مدار واحد فى حين يظهر براهى كمكتشف لكيفية عمل باقى مدارات الكواكب. ويُروى أن براهى قام بالرحلة الطويلة هــذه المــرة ليُطلِع كِبْلر على ما جمعه من بيانات عن كوكب المريخ، وبالطبع كان كِبْلر سعيدًا، خاصة عندما اتضح أن مدار المريخ يتعين أن يكون بيضويًا. ولك أن تتخيل الرعب الذى انتاب براهى عندما أخبره كِبْلر أنه لم يعُد بحاجة لرؤية باقى المعلومات عن الكواكب الأخرى، فما رآه عن المريخ كان كافيًا لتأكيــد فكرته عن المدارات البيضوية للكواكب.

مع الأسف، ربما كانت القصة الحقيقية أقل إثارة.. فيبدو أنه عندما مات ملك الدانمرك، قام خليفته بطرد براهى من البلاط، ويقول البعض إن هذا الفلكــى كان رجلاً متعجرفاً عقيماً يصعب التعامل معه وغير محبوب من الجميع فى

البلاط باستثناء الملك العجوز. وقد تمكن براهى من الحصول على وظيفة فى بلاط آخر بمدينة براغ، وسمع عن كِبْلر واعتزم توظيفه كمساعد له هنـــاك، وربما عندما تقدمت به السن أحسّ أن أرصاده لم توصله لشيء عن الكـــون، فخشىَ أن يمـــوت دون أن يكون هناك نتيجة لعمله الشاق. مع ذلـــك، وبـــلا شك، لم ينسجم براهى مع كِبْلر – فقد كان كلاهما يضمر فى نفســـه حـــب السَبْق – وأصبح كِبْلر بالفعل مساعداً لبراهى وأمضيا معًا بعض الوقـــت. فعملا على ما رصده براهى عن المريخ. إلا أن كِبْلر لم ينشر فكرته عـــن المدارات البيضوية إلا عام ١٦٠٩، أى بعد وفاة براهى، ورغم ما كان مـــن تنافس بين الرجلين فإنهما تعاونا فى النهاية.

كان لكل من أرصاد براهى الدقيقة ونظرية كِبْلر الملهمـــة نفـــس الأهميـــة بالتساوى فى الكشف عن أن الكواكب يجب أن تكون ذات مدارات بيضـــوية حول الشمس، وليس الأرض، كما تنبأ بذلك كوبرينيكاس. وللأسف، يبدو أن براهى قد تُوفى قبل أن يعرف الجميع القيمة الحقيقية لأرصاده.

هرطقة جاليليو

ظلت الكنيسة، على نحو غريب، غير مهتمـــة بـــالمرة، ربمـــا لأن بـــراغ والدانمرك كانتا بعيدتين بحيث لا تثيران القلق من جهتهما. فى ذلك الوقـــت كان جاليليو جاليلى، المرجع الإيطالى الرائد ذو السلطة، ما يـــزال يُـــدرس لطلابه بانتظام أن الأرض فى مركز الكون، لقد كان جاليليو أستاذاً معروفـــا للرياضيات فى بلدة "بادوا"، وقد نال الاحترام والشهرة بسبب أعماله العلمية،

وتبعًا للرواية التى تقرر أن تصدقها، فقد كان عالمًا نموذجيًا، أو منتحلاً سيىء السمعة يسرق أفكار الآخرين.. ويعتبره ستيفين هوكينج، إلى حد ما، أبا العلم الحديث، على الأقل بسبب الطريقة التى رفض بها تدريس أفكار جديدة حتى يرضى عنها بعد اختبارها عمليًا بدقة، حيث أُثِر عنه أنه بمجرد رضاه عن توثيق العِلم لشىء ما، فإنه يسعى لمؤازرته مهما كانت الصعاب التى يسببها ذلك له.

أيًا ما تكون وجهة النظر التى تتبناها عن أعماله، فليس ثمة مجال لإنكار أن جاليليو أسهم بعمق فى العلم الحديث، (وبالمصادفة، يقع تاريخ وفاته قبل ٣٠٠ عام من ميلاد ستيفين هوكينج)، وإنها لمصادفة عجيبة من المحتمل ألا تعنى شيئًا بالنسبة لإسهامات كلٍ منهما فى فهمنا للكون، لكنها مع ذلك تظل مصادفة ساحرة.

لقد قام جاليليو بعمل متميز عن طريق اكتشافه لقوانين الحركة. مثال ذلك حساباته التى قام بها لدراسة ما يحدث لكرة عندما تسقط من ارتفاع معين إلى سطح الأرض، فبغض النظر عن حجم الكرات المستخدمة فى التجربة، فإن المعدل الذى تكتسب به السرعة يكون ثابتًا دائمًا، وأيًا ما ترويه الأسطورة، فإن ذلك يمكن اختباره ببساطة عن طريق دحرجة كرتين لهما شكلان وحجمان مختلفان على المنحدر المتدرج نفسه، دون اللجوء لإسقاطهما من قمة برج "بيزا"[١] المائل! وكانت النتيجة النهائية أن الأشياء تسقط بقيمة

(١) تروى بعض القصص التاريخية أن جاليليو قام بتجربته من برج بيزا المائل بإيطاليا. (المترجم).

العجلة[٢] نفسها إلا إذا منع ذلك قُوى أخرى. وباستخدام المنحدر الذى صنعه جاليليو، كان قياس الزمن وملاحظة حركة الكرات أمراً سهلاً. وبذلك أخذ جاليليو أولى خطواته نحو فهم الجاذبية، وبالطبع كان ذلك تطوراً علميًا مهمًا، إلا أن الأهم منه تمثل فيما قام برصده، والذى وضع الكنيسة والعلم فى خلاف.

يرجع سبب الخلاف إلى استطاعة جاليليو استخدام تطور تقنى متميز.. وجاليليو لم يبتكر التلسكوب الفلكى من لا شىء، إلا أنه كان يملك العبقرية لكى يجمع أجزاءه من أشياء قام بعملها آخرون فى أماكن أخرى. فالعدسات كانت مستخدمة لفترة كأجهزة تكبير بسيطة، إلا أن قوة التكبير التى تنشأ من عدسة واحدة كانت محدودة. ويُحكى أن طفلين أثناء لعبهما فى محل لبيع الأجهزة العلمية فى مدينة "أمستردام" اكتشفا بالمصادفة ما يحدث إذا نظرا عبر عدستين فى ذات الوقت، فقام مالك المحل بوضعهما فى أنبوب، إحداهما عند طرف والأخرى بالطرف الآخر وباعها على أنها جهاز تكبير، وقد استخدم العالم الهولندى "ليوفينهوك" هذه الفكرة لتصميم الميكروسكوب[٣] قبل أن ينظر بها جاليليو نحو السماء عام ١٦٠٩ ويستخدمها كتلسكوب[٤]. والذى رآه جاليليو فى النهاية كان كافياً لإقناعه أن تصور كوبرينيكاس عن كون تقع الشمس فى مركزه، يجب أن يكون التصور الصحيح. من ثم، قام الأستاذ

---

(٢) العجلة (التَّسَارُع أو التباطؤ) تعنى الزيادة – أو النقصان – المُطَّرِد فى السرعة مع مرور الزمن بسبب قوة التجاذب بين الأجسام. (المراجع).

(٣) لتكبير الأشياء الصغيرة. (المترجم).

(٤) لتقريب الأشياء البعيدة. (المترجم).

الإيطالى بإذاعة ونشر التوكيد المرعب ــ مرعب على الأقل بالنسبة للكنيسة ــ بأن نموذج مركزية الأرض فى الكون لبطلميوس، لا يمكن للعلم أن يدعمه من الآن فصاعداً. (راجع الصورة رقم ٤).

الذى أقنعه بهذه السرعة أن التلسكوب كشف فوراً عن كل أنواع العيوب التى ألقت بظلال من الشك على فكرة الكون المصنوع من دوائر وكرات كاملة، فقد كانت هناك تشوهات على الكرات السماوية المرصودة عن قرب، مثل البُقع الشمسية والحفر الصخرية على القمر، ورصد جاليليو عبر تلسكوبه ظاهرتين سددتا الضربة القاضية لنموذج بطلميوس عن الكون. كانت الأولى حقيقة أن للمشترى أقمارًا تدور حوله، (دعمت الكنيسة ــ دائمًا ــ نموذج الكون الذى اقترحه بطلميوس لأنه يسمح بدوران كل شىء فيه حول الأرض؛ ولكن وُجدت ــ الآن ــ بعض الأجسام السماوية تدور بوضوح حول جسم آخر). وكانت الظاهرة الثانية التى رصدها جاليليو الظلال على سطح كوكب الزُّهرة، فبدراسة كيفية تغير شكل هذه الظلال مع الزمن بات واضحًا أن الزُّهرة تدور حول الشمس، وانهارت دعوى مركزية الأرض فى الكون، وأصبح نموذج كوبرينيكاس الأكثر قبولاً.

فى هذه المرة لم تعُد الكنيسة لسالف عهدها بالهدوء، ربما لثلاثة أسباب رئيسية، أولها أنها لم تستطع تجاهل صدمة انتشار أفكار جاليليو، الذى قام بنشر رؤيته باللغة الإيطالية وليس باللاتينية الأكاديمية، وبدأ العامة على مستوى واسع فى تأييده، وحيال ذلك ألح الأساتذة التقليديون على الكنيسة لتأكيد صحة رؤية بطلميوس.

ثانيها أن جاليليو زاد الطين بِلَّة بأن اقترح مجازية تعبيرات الكتاب المقـــدس إذا تعارضت مع الحِس العام والعلم، بل إنه ذهب لأبعد من ذلك بقوله إن أى شخص ليس بإمكانه رؤية المنطق الواضح فى الدليل ضد مركزيـــة الأرض فى الكون سيكون شخصًا غبيًا وعنيدًا بلا معنى لعناده.. وكان هذا مســـاويًا للتجديف على الرب، بمعنى آخر كان كلامه إعلانًـــا صـــريحًا بـــأن البابـــا ومستشاريه حمقى.

ثالثها أن ظهور البروتستانتية(٥) بات يهدد الكنيسة الكاثوليكية، وقد آن الأوان للتوكيد على سلطانها وعلى رؤيتها التقليدية للكون. وفى عام ١٦١٦، أعلنت الكنيسة أن المذهب الكوبرينيكى خطأ، وأمرت جاليليو بالتخلى عنه.

لم يكن على جاليليو إلا الإذعان إذا أراد إكمال عمله كعـــالِم فـــى مجـــالات أخرى. لكن أمر تسجيل طبيعة الكون بدا له شيئاً أساسياً جداً لدرجة أنه كان من الممكن أن يتخلى عن كل شىء آخر من أجله، ومع ذلك فقد قام بما طُلِبَ منه. وفى عام ١٦٢٣، بدا أنه قد كوفئ على طاعته، فقد تم تنصيب بابا جديد تصادف أنه كان صديقًا قديمًا للأستاذ، وعلى الفور بحث جاليليو معه إمكانية منع مرسوم عام ١٦١٦؛ إلا أن البابا الجديد كان حسَّاسًا بالنسبة لسياســـات الكنيسة وما كان ليقبل بغير تسوية؛ لذا خوَّل البابا لجاليليو نشر مقال جديـــد عن كل من النموذج البطلميوسى والنموذج الكوبرينيكى للكون دون أن يؤازر

---

(٥) أحد المذاهب الإصلاحية فى الكنيسة الغربية، وظهر على يد مارتن لوثر بـــإنجلترا. (المترجم).

أيًا منهما ضد الآخر، كما أصر على وجوب إشارة جاليليو بشكل جوهرى إلى أن الإنسان ليس بمقدوره أن يعرف كيف يعمل الكون؛ إذ إن ذلك يحُد من القدرة الربانية المهيمنة على الكون! (ومن الطريف أن رد فعل مماثل تلقاه ستيفين هوكينج وغيره من العلماء عندما شرحوا آخر نظريات عن الكون للبابا الحالى بعد أكثر من ثلاثمائة عام).

كتب جاليليو كتاباً جديداً، لكن بدلاً من أن يلتزم باشتراطات البابا، ظهر الكتاب داعمًا للكوبرنيكية؛ إذ ما كان باستطاعة جاليليو ــ أو ما كان له ــ أن يجمع بين أفكار مؤيدة لنموذج بطلميوس وفى الوقت نفسه مؤيدة لما توصل إليه تلسكوبه، وفى نهاية الأمر أُحضِر أمام الكنيسة للتحقيق معه وحُكِم عليه بالحبس فى بيته، كما تعين عليه ــ أيضًا ــ التبرؤ من مبدأ كوبرينيكاس للمرة الثانية.. إلا أن ذلك حدث بعد فوات الأوان، فرغم إذعان جاليليو لأمر الكنيسة، إلا أن عامة الناس قد أدركوا أن العلم عرَض حقائق جديدة عن الكون لا يمكن للعقيدة الدينية المُوجهة أن تمحوها. (راجع الرسم رقم ٥).

إن القيود على المعرفة يصعُب دوامها، لذا لم يمض وقت طويل حتى بات لزامًا على الكنيسة أن تتصالح مع نتائج الرصد العلمى، وأوضحت مدارات كبلر البيضوية وأرصاد جاليليو أن تصور كوبرينيكاس للكون له معنى. وبقيت مشكلة واحدة، تمثلت فى تفسير حقيقة القُوى التى تحفظ الكواكب فى مداراتها.. وإلى أن يتم ذلك، كان على الكنيسة أن تعترف بالهزيمة، وكان لزامًا عليها ضبط رؤيتها دون إجراء تغيير كامل فى وجهة نظرها.

قوة نيوتن التى لا تُقاوم

بغير قصد، أعد إيزاك نيوتن طريقاً ملائمًا للكنيسة للخروج من مأزقها، ونيوتن بالطبع ارتبط فى أذهان العامة بالتفاحة الساقطة من الشجرة واكتشاف الجاذبية، ولكنه قدم ــ أيضًا ــ إسهامات ضخمة للعلم فى اتجاهات أخرى، وفى الحقيقة لقد منحه البعض رتبة "أبى العلم الحديث" بدلاً من المُرشح المُحبب لدى ستيفين هوكينج، أى جاليليو، ما يهمنا فى الحقيقة أن كليهما له قدر كبير. لقد أكمل نيوتن بكفاءة عمل جاليليو عن طريق شرح العلاقة المباشرة بين القوة وحركة الجسم، باستخدام سلسلة من الصيغ الرياضية.

وبالرغم من أن نيوتن لم يتعلم الرياضيات فى المدرسة، إلا أنه امتلك الاستعداد للموضوع، لدرجة أنه أصبح بسرعة أستاذ الكرسى اللوكاسيانى للرياضيات بجامعة كيمبريدج، المنصب الذى يشغله ستيفين هوكينج الآن.

وقد كان المحور الرئيسى لأعماله فكرة مفادها أن الجسم يبقى متحركًا فى خط مستقيم بالسرعة نفسها ما لم تؤثر فيه قوة تغير من ذلك، فإذا تحولت حركة الجسم إلى سكون، فذلك لأن قوة ما قد أثرت فيه لإيقاف حركته، مثل الاحتكاك ومقاومة الريح، التى تجعل كرة متدحرجة تسكن فى النهاية. كذلك، عندما يتحرك شىء ما بسرعة أكبر أو أقل، أو يغير اتجاهه، فيكون ذلك بسبب أن قوة ما قد أثرت عليه لإحداث ذلك التغيير.

استخدم نيوتن الرياضيات ليبين أن التغيرات فى السرعة واتجاه الحركة يرتبطان بعلاقة طردية مع كتلة الجسم ومع القوة المؤثرة فيه. وكتلة الجسم

خاصية تتعلق بحجمه ووزنه، وللدقة، يمكن تعريف كتلة جسم على أنها المجهود أو كمية القوة اللازمة لتحريكه، أو لزيادة سرعة حركته لو أنه متحرك بالفعل.

لقد عَبَّدت قوانين الحركة تلك، والتى مازالت تُدَرَّس كأساسيات الفيزياء بالمدارس، الطريق لفهم ماهية الجاذبية. ثم برهن نيوتن على أن كل جسم أو شيء يجذب كل جسم أو شيء آخر بقوة تسمى الجاذبية. ومن الواضح أن الجسم المتميز بكتلة أكبر سيجذب الجسم الأقل كتلة فى اتجاهه، وبهذه الطريقة تجذب الأرض التفاحة نحو سطحها، والتفاحة ـ أيضًا ـ تجذب الأرض ناحيتها، لكن بسبب أن التفاحة لها كتلة صغيرة للغاية مقارنة بالأرض فإنها تجذبها بقدر يمكن إهماله، لذلك يبدو كما لو كان الجذب كله فى اتجاه واحد، نراه عندما تسقط التفاحة نحو الأرض. وفى الحقيقة، تعتبر الجاذبية قوة واهنة للغاية لدرجة أن جسمين لهما نفس الكتلة سيؤثران بعضهما على البعض على نحو لا يُذكر، فتفاحتان لهما الكتلة نفسها وموضوعتان على طبق، لن تقوم أى منهما بجذب الأخرى، إلا أن ذلك لا ينفى وجود قدْر، ولو قليل، من التجاذب بينهما. علاوة على ذلك، كلما زادت المسافة بين جسمين قلت قوة الجذب بينهما. (راجع الرسم رقم ٦).

كان هذا التفسير متوافقًا تمامًا مع ملاحظات جاليليو، من حيث إن الأجسام ذات الأوزان والأحجام المختلفة تسقط دائمًا نحو الأرض بالعجلة نفسها. وعلى العموم، فإن كتلة الأرض عظيمة جدًا بالمقارنة بأى جسم يمكن للإنسان أن يُسقِطَه بالقرب من سطح الأرض حتى إن أى فرق فى الكتلة بين

الأجسام الساقطة سيكون له تأثير مهمل فى المعادلة التى تصف ذلك، وهذا أشبه ما يكون بمحاولة التفريق بين تأثير قوة ريح عاصفة فى ورقة شجر مفلطحة فى مقابل تأثيرها فى ورقة شجر إبرية الشكل.

عندما أخذ نيوتن فى اعتباره أجسامًا ذات كتلة عظيمة ــ كالشمس والقمر والكواكب ــ بالإضافة إلى الأرض، اتضح له أن قُوى الجذب بينها ستكون ذات بال، حتى مع المسافات الشاسعة بينها، وذلك ما لم تؤثر قوى أخرى لإيقافها، وبالتالى ستتحرك كل هذه الأجسام السماوية فى اتجاه أو آخر فى الفضاء. عادة ما تكون تلك الحركة فى خط مستقيم، إلا إذا اقترب أحد هذه الأجسام السماوية من الآخر بشكل كافٍ لإحداث تأثير جذبى عليه. وربما لا تكون هذه القوة كبيرة لدرجة تدفع هذه الأجسام للارتطام، إلا أنها ربما تصل لدرجة كافية لانحناء الخط الذى يتحرك عليه أحدها. ولربما قامت القوة الجاذبية بسحب الجسم الأقل كتلة إلى مدار حول الجسم ذى الكتلة الأكبر إذا كان الاتزان صحيحًا بين كُتَل الأجسام وسرعتها واتجاه حركتها والمسافة بينها.

استنبط نيوتن المعادلة الرياضية التى تصف هذه العلاقة، وقرر أن يبحث كيفية تطبيقها على المجموعة الشمسية. وعندما طبق هذه الصيغة الرياضية للجاذبية على المدارات البيضوية، التى اقترحها كبلر، وجد أنها تتوافق بشكل كامل تقريبًا. فقد كانت مدارات المريخ والمشترى وزحل متوافقة مع حساباته تمامًا، ولكن فيما بعد تم اكتشاف اختلاف ضئيل فى مدار عطارد، وعُزِى

ذلك على الفور لعدم دقة الرصد، حيث كانت معادلات نيـوتن تشـرح كـل المدارات بشكل جيد جدًا.

هكذا كانت النتيجة واضحة: لقد كان كوبرينيكاس وكبلر على صـواب مـن البداية، وقد أظهر نيوتن أن الجاذبية مسئولة عن حفظ الكواكب فى مداراتها البيضوية حول الشمس.

أثبتت قوانين نيوتن، التى صِيغَت منذ حوالى ثلاثمائة سنة، دقتها حتى إنهـا مازالت تستخدم لتوقع وحساب السرعة والمسار اللازمين لوضـع الأقمـار الصناعية فى مدارها حول الأرض. لقد كان إنجازًا فكريًا هائلاً؛ ولـم يعُـدْ بمقدور الكنيسة مقاومة الدليل على أن الشمس، وليس الأرض، فـى مركـز الكون.. وبشكل غير مباشر، كان الأمر أسهل قبولاً بسبب شيء آخر آمن به نيوتن؛ إذ لم يكن سعيدًا بفكرة وجود حدود خارجية للكون، أى كرة النجـوم الثابتة فى نموذج بطلميوس، حيث ساهم نيوتن فى تطوير تلسكوب جديد أكثر قوة، أظهر أن النجوم ليست كلها ثابتة فى الحقيقة، بل تتحرك، حتى ولو بقدر متناهٍ فى الصغر. (راجع الصورة رقم ٧).

بما أن قوانين نيوتن للحركة اعتمدت على فكرة عدم وجود أى شيء ساكن، لذا قرر أن كل الأجسام السماوية يجب أن تتصرف مثل الكواكب القريبـة، التى يمكن رصدها بسهولة. على ذلك يجب ـ بالمِثل ـ أن تكون النجوم فى حالة حركة بحيث تتحكم الجاذبية فى مساراتها عندما يدخل كل منهـا فـى مجال جذب نجوم أخرى. وإذا كان كل شيء فى حالة حركـة هكـذا، أيـن

وكيف يمكن لحدود الكون أن تُرسَم؟ لم يكن ثمة داعٍ منطقى لوجود كرة النجوم الثابتة كحافة للكون، من ثم قاده ذلك لافتراض عدم وجود حدود للكون، وبالتالى يصبح من الجائز أن يكون لا نهائيًا فى المكان والزمان.

تعارض هذا بطريقة ما مع مبدأ الكنيسة (حيث جعل من الصعوبة تحديد زمان ومكان للحظة الخلق)، لكنه على الأقل احتضن فكرة اللانهائية والخلود، الأمر الذى يتماشى على نحو كبير مع ما تراه الكنيسة عن الرب، فهو فى قوته وحكمته اللانهائية قد خلق الكون ليصبح فى مثل لا نهائيته وخلوده، أما كيف فعل ذلك فسيكون أمرًا خارج إطار مناقشة الإنسان الفانى خلال حياته المحدودة!

أصبح التوفيق بين العلم والدين فى تلك الأيام أمرًا عسيرًا، كما لم يَسْلَم الدين من التجريح فى المعارك الفكرية بين أقطاب الكنيسة والعلماء، وكان لزامًا على الكنيسة أن تُذعِن لصحة الاكتشافات العلمية القائلة بأن الأرض مجرد كوكب سيار حول الشمس، وأنها لم تكن ــ أبدًا ــ مركزًا لكل شيء. وعلى الرغم من أن الكنيسة عجزت عن إثبات وجود لحظة الخلق، التى بشرت بها دائمًا، فإن العلم لم يكن أفضل حالاً بحيث يُقدم لنا سببا لوجود الكون، كما لم يستطع العلم ــ أيضًا ــ حل المشكلة العويصة فى تصور نيوتن عن الكون اللانهائى الواقع تحت تأثير الجاذبية؛ إذ لو أن كل جسم يمارس قوة جذب على الأجسام الأخرى، فلماذا تبقى النجوم فى الكون بعيدة عن بعضها لفترة طويلة؟

رغم ذلك، أصبح نموذج نيوتن ــ عن كــون لا نهــائى مســتقر، بقوانينــه الرياضية عن الحركة والجاذبية، التى تشرح بدقة كل ما نشاهده ــ مقبــولاً على مستوى واسع، تمامًا كما حدث مع نموذج بطلميوس فيما مضى. وعلى عكس رواية مركزية الأرض لبطلميوس، فلم يعش نموذج نيوتن عن الكون اللانهائى دون مقاومة إلا لمدة تزيد قليلاً على مائتى عام.

الفصل الثالث

رؤية الضوء

التطلع إلى النجوم

فى ظل الصحوة التى أثارتها فكرة نيوتن عن كون "لا متناهٍ مستقر"، انـــدفع كثيرون بحماسة للتطلع إلى السماء، وبمســـاعدة التلســكوبات ذات القــدرة المتزايدة شُغِل الناس بالتساؤل عن المدى الذى يمكنهم التحديق فيه والتطلـــع إليه؛ ومن ثم التفكير فى ما عسى أن يجدوه. وبوضع المرايا فى التلسكوب، وجد نيوتن طريقة جديدة للحصول على صور واضحة ومكبرة لكل مـــا رآه جاليليو من قبل، إلا أن هذه التقنية المتطورة لم تؤد فى البدايـــة لمشـــاهدات مثيرة وجديدة. وفى حين قدَّمَت الكواكب والمُذنَّبات هدفًا جديدًا ومثيرًا يتتبعه الفلكيون، كان كل ما أمكن مشاهدته وراء ذلك مجرد نقاط الضوء المعتـــادة: لا شيء سوى مزيد ومزيد من النجوم، حيث بدت النجوم الأقـــرب، تحـــت الرصد الدقيق، تمامًا مثل ما رصده الأولون بالعين المجردة ــ مجرد مصادر لضوء ساطع. وبهذا أظهرت التلسكوبات الحديثة ما قد تم رصده بالفعل، فقط مزيد من النجوم المُكبرة، بحيث تظهر أضخم عند النظر إليها مـــن خـــلال التلسكوبات.

هكذا كان الحال إذن، فعِوضًا عن اكتشاف تنويعات جديدة من الأجسام السماوية فى عمق الكون، وجد الفلكيون أنفسهم فى مواجهة مع ما قد يعنيه هذا العدد المتزايد من النجوم. وحوالى عام ١٧٥٠، وَجَد "توماس رايت" أن للنجوم تجمعات توجد بكثرة عند توجيه النظر فى اتجاه عنه فى اتجاهات أخرى. فظهرت فكرة أننا موجودون فى ما يشبه عائلة من النجوم، وأنه ربما كان ثمة عائلات أو عناقيد أو تجمعات مماثلة. كما رصد الفيلسوف الألمانى "إيمانويل كانْتْ" سُحُب الغبار أو "السُّدُم"، واقترح أنها ربما كانت عناقيد من النجوم، كتلك التى ننتمى إليها، موجودة على مسافات بعيدة، أى أن العنقود الذى نوجد فيه ما هو إلا "مجرة"، وأن تلك السُّدُم ربما كانت عناقيد أخرى، أو مجرات كما نسميها الآن. وآنذاك بدأ الفلكى الفرنسى "تشارلز مِيسييهْ" فى رسم خريطة لهذه السحب فى محاولة لتأسيس تصور عن الكون.

أخيرًا عثر "ويليام هيرشلْ"، وأخته "كارولينْ"، عام ١٧٨٥ على جسم سماوى جديد عندما اكتشفا كوكب يورانوس؛ كما شاهدا مساحات صغيرة من الضوء فى أحد السُّدُم وأعلنوا أنها نجوم منفصلة موجودة فى سحب حقيقية من الغبار والغاز، ثم قام الإيرل[٦] الثالث "لرُوسْ"، "ويليام بارسو"، ببناء تلسكوبه الهائل فى قلعة "بيير" بوسط "إيرلندا" فى عام ١٨٤٠، والذى كان يُعَد وقتها أقوى تلسكوب فى العالم بأنبوبه الضخم الذى يزن ١٠ أطنان، وتم التأكيد بشكل نهائى على وجود نجوم منفردة داخل المجرات.. والذى شوهد من قبل

---

(٦) لقب إنجليزى أرفع من لقب "كونت". (المترجم).

باستخدام التلسكوبات الأصغر على أنه مساحات صغيرة غير منتظمة من الضوء، وافتُرِض أنه نجوم غير منتظمة الشكل أو نجوم محاطة بسحب من الغبار، شوهد – الآن – كمجموعات من النجوم منتظمة الشكل فقدت ضوءها الذاتى فى ضباب اللمعان الناتج من المجرة ككل. (راجع الرسم والصورة رقم ٨).

كل ألوان قوس قُزَح

رغم ما اكتسبه الفلكيون من معارف جديدة، فقد ظلوا بلا أمل فى اكتشاف جديد؛ إذ طالما كان كل ما يمكن مشاهدته مباشرة بعد مجموعتنا الشمسية مجرد عناقيد من الضوء، فيبدو – مع الأسف – أننا لن نستطيع معرفة المزيد عن الكون عن طريق الأرصاد فقط، وربما نكون قد وصلنا لنهاية المعرفة الإنسانية! لقد كانت فكرة واقعية ولكنها مخيفة.

رغم ذلك، وكما حدث بالضبط، قام علماء آخرون بدفع عجلة التطوير غير مدركين لمدى الارتباط الوثيق بين عملهم وعلم الكونيات.. ففى عام ١٨١٦ كان صانع العدسات الألمانى، "يوسف فونْ فراونهوفر"، يختبر الزجاج، الذى يستخدمه فى صنع عدساته بمعامله بالقرب من مدينة "ميونخْ"، حيث شاهد شيئًا غير عادى عندما استخدم الضوء الصناعى، وأراد أن يتحقق من أن الشيء نفسه يمكن رؤيته فى الطيف الكامل للألوان المنكسرة من ضوء الشمس. كان نيوتن قد شرح فكرة انكسار الضوء إلى ألوان الطيف قبل ذلك بحوالى مائة عام، وهذا موضوع ما يزال طلاب المدارس يتعلمونه إلى اليوم

فى حصص مبادئ الفيزياء، حيث يتم استخدام منشور زجاجى ثلاثى لكسر حزمة الضوء إلى أطوال موجية منفصلة، لتنتج تشكيلة رائعة من الألوان، من الأحمر والبرتقالى عند طرف، مرورًا بالأصفر والأخضر والأزرق، وانتهاء بالنيلى والبنفسجى عند الطرف الآخر. إن ما أراد فراونهوفرْ أن يتأكد منه ببساطة تمثل فى محاولة معرفة إن كانت العيوب المحتمل وجودها فى عدسته الزجاجية ستؤثر بحيث تظهر فى شكل قوس قزح ينشأ من الانكسار، أم لا؛ فقام فى البداية باستخدام ضوء صناعى، وهو الضوء الأصفر الناشئ من تسخين عنصر الصوديوم، ليختبر نوعية الزجاج الذى يستخدمه، فلاحظ وجود مساحات فاصلة غامضة فى الضوء المنكسر من مصباح الصوديوم ـ وهذه المساحات عبارة عن خطوط سوداء لا تسمح باتصال انتشار الألوان، وتظهر بدقة فى ذات الأماكن فى كل مرة يقوم فيها بكسر ضوء المصباح ـ ولكن لمّا كان ضوء الصوديوم يكشف فقط عن جزء من الطيف، أراد فراونهوفرْ أن يختبر كل الطيف ليرى إن كانت هذه الخطوط السوداء ستظهر فى ضوء الشمس أم لا. وفى ظل الشروط الدقيقة التى اختبر فيها عدساته، أمكنه ملاحظة عدد كبير من الخطوط الواضحة تمامًا عبر الطيف، علاوة على قوس قزح الناشئ من انكسار الضوء، حيث كان بعضها خطوطًا سوداء بالفعل، والأخرى أقل وضوحًا وأفتح لونًا. وعادةً لا يمكن تمييز تلك الخطوط فى معامل المدارس، إلا أن ذلك كان ممكنًا بالتأكيد فى ظل ظروف تجربة فونْ فراونهوفرْ.

لقد حاول عقب ذلك القيام بتسخين كيماويات أخرى خلاف الصوديوم، وقــام بإجراء انكسار للضوء الناتج عنها، فظهرت مرة أخرى تلــك الخطــوط أو المساحات الفاصلة ولكن فى مواضع مختلفة هذه المرة. إلا أنه لــم يعــرف سبب وجودها. لقد كان لكل مادة كيماوية نمط من الخطوط يختلف عن الذى تنتجه مادة أخرى عند استخدامها لإنتاج الضوء. لقد كان ذلك أشبه ما يكون بالشفرة الخطية المستخدمة اليوم فى "السوبر ماركت" لتشفير أسعار البضائع وأوصافها، وكان كل نمط من الخطوط المضيئة والمظلمة، المتضــمنة فــى الطيف اللونى، عبارة عن نوع من أنواع (البصمة الضــوئية)، التــى كــان بإمكان فونْ فراونهوفرْ ــ لو عَرَف بذلك وقتها ــ استخدامها فــى التعــرف على تركيب المواد الكيماوية التى كان يقوم بتسخينها، إلا أن كل ما أدركــه فى ذلك الوقت أنه قد شاهد تلك الخطوط، وأنه يتعين عليه إعلان وجودهــا لفائدة العلم.

نحن نعرف ــ الآن ــ أن تلك الخطوط تُمثل مواضع خاصة فى الطيف، أو أطوالاً موجية معينة للضوء، حيث يقوم كل عنصر بامتصاص كميــة مــن الضوء ــ وبالتالى ينتج خطًا أسود فى الطيف، أو يقوم بإشــعاع ضــوء ــ وبالتالى ينتج خطًا مضيئًا. ولذلك بالطبع علاقة أكيدة بالتركيب تحت الــذرى لكل عنصر، وبالطريقة التى يستجيب بها لتأثيرات الطاقة والتسخين. ولم يلق اكتشاف فونْ فراونهوفرْ اهتمامًا فوريًا؛ إذ كل ما كان معنيًا وقتهــا أن لكــل مادة كيماوية "بصمة" فى عينة الضوء، يمكن رؤيتها عنــد إجــراء تجربــة الانكسار لذلك الضوء الصادر من مادة بعينها، ومن ثم أمكن التكهن بالعنصر

الموجود بالمصدر الذى يُشِع الضوء عن طريق تمييز كل من هذه "البصمات".

لم يكن فونْ فراونهوفرْ وحده الذى لم يفهم مباشرة قيمة هذا الاكتشاف؛ وفى الحقيقة فإن ذلك لم يتم حتى حوالى عام ١٨٨٠ حينما اكتشف "ويليامْ هيجنزْ" أن خطوط فراونهوفرْ تلك تُمثل بصمات للعناصر، كما أدرك الرجل أن هذا الاكتشاف سيصبح مفيدًا للتعرف على المادة التى صُنعت منها الشمس والنجوم.. وعندما قام بكسر الضوء القادم من الشمس وقارنه بالضوء المنكسر القادم من أحد النجوم، فإنه لم ير فقط أنها تعطى ضوءًا ذا بصمة مماثلة، بل كان بمقدوره ــ أيضًا ــ أن يُميز فى كلتا العينتين بصمتين واضحتين منطبقتين على بعضهما، كانتا لعُنصرى الهيدروجين والهيليوم، والنتيجة الحتمية لذلك اقتضت أن الشمس والنجوم تتكون ببساطة من الهيدروجين والهيليوم، اللذين "يحترقان" أو يتفاعلان بطريقة ما كما لو كانت النجوم نوعًا عملاقًا من مصابيح فراونهوفرْ التى تنتج الضوء والحرارة.

كان هذا فى حد ذاته إنجازًا علميًا متميزًا، لكن من الناحية الفلسفية كان الكشف الأهم أن الشمس والنجوم ليستا مختلفتين عن بعضهما. وبعبارة أخرى، فقد تم ــ الآن ــ اكتشاف شىء جديد يزيد من تواضع الجنس البشرى، أكثر بكثير مما فعلت أرصاد جاليليو، التى أظهرت أن الأرض ليست مركز كل شىء؛ إذ أصبحت الشمس، الكائنة فى مركز الجذب للمجموعة الشمسية، غير ذات طبيعة منفردة، وما هى إلا نجم آخر، واحدة من مليارات النجوم المكونة من الهيدروجين والهيليوم المختلطين بطريقة ما

بحيث تشع ضوءًا وحرارة عبر الكون، وبدا موقعنا فى الكون كما لو كان عشوائيًا غير متميز.

فى هذه المرة لم تنشأ الكنيسة الكاثوليكية، ولا أى من فروع العقيدة المسيحية تحدى النظرة العلمية. تلك النظرة، وإن صغَّرت من حجم الإنسان مقارنة بالرب، فإنها خدمت قضية تميز الرب بالقدرة الهائلة والحكمة اللانهائية. إلا أن اكتشاف هيجنزْ قد أتاح لكثير من العلماء المتشككين فى المعتقدات الدينية، التعلق بفكرة استقلال العلم عن الدين، وأن محاولة الفهم الكامل للكون يمكن القيام بها فى نهاية المطاف بالفحص والتفكير العلمى وحده، وعندئذ سوف لا يكون ثمة مكان لفكرة الخلق، ويصير الكون مستقرًا لا نهائيًا غير متغير، وببساطة فهو موجود دائمًا! ويصبح الإنسان بكل أحكامه المُسبقة ومعتقداته الدينية وإحساسه بأهميته الذاتية مجرد نتيجة مدهشه للظواهر التى يمكن تفسيرها علميًا. وعلى هذا النحو بدأت مجموعة قليلة من المفكرين تعلن الإلحاد، غير مؤمنين بوجود الرب، واعتبروا أن تلك الأفكار تُمثل معتقدهم الفكرى الوحيد الذى يمكن قبوله.

تأثير دُوبللرْ

يا للسخرية! بمجرد أن بدأ بعض المفكرين يعتقدون بأن العلم قد وضع نهاية للدين، قدمت الفيزياء سببًا لإعادة التفكير. فقد كان الاكتشاف التالى المتميز عن الضوء مؤيدًا للقائلين بالخلق فى الكنيسة، وضد براهين المُلحدين.. لم يكن أى شخص يتوقع ذلك وقتها، وبخلاف فراونهوفرْ، عَرَف "كريستيانْ

دوبللر" قيمة ما اكتشفه فى "فيينا" عام ١٨٤٢ بالنسبة لعلم الفلك؛ وقد تطلب الأمر مُضى سبعين سنة أخرى قبل أن يُحدث اكتشافه ثورة فى علم الكونيات وليكون دعمًا لرؤية الكنيسة عن الخلق.

اكتشف دوبللرْ مبدأ ينطبق على ظاهرتى الصوت والضوء بالتساوى؛ وربما يكون التقاط الفكرة الأساسية أسهل لو أخذنا فى الاعتبار الصوت أولاً. إن الذى نعرفه اليوم على أنه "تأثير دوبللر"، غالبًا ما نُمثِّله بصوت قطار يدخل محطة ثم يخرج منها، حيث يسمع أى شخص يقف على رصيف المحطة صوت القطار يتغير أثناء اقترابه ثم مروره أمامه ثم مضيه مبتعدًا عنه، ومن الواضح أن الصوت يزداد ارتفاعه كلما اقترب القطار، ويخفت كلما ابتعد. لكن ثمة تغير يحدث فى النغمة أيضًا، فالصوت المقترب يكون ذا نغمة حادة، والصوت المبتعد يُسمع متميزًا بنغمة غليظة، ومع ذلك لا يوجد تغير بالنسبة لشخص يجلس بالقطار، فما يا تُرى تفسير التغير فى النغمة، الذى يحس به الراصد على رصيف المحطة؟

أدرك دوبللرْ أن نغمة الصوت تتغير بسبب تغير الزمن الذى يأخذه الصوت ليصل إلى الراصد على الرصيف، وسيتضح الأمر لنا إذا قمنا بتقسيم رحلة القطار إلى سلسلة من اللحظات: لنفترض أن القطار عند اللحظة "أ" كان على بُعد ١٠٠ متر من الراصد، ثم بدأ فى الاقتراب منه، سيكون على الصوت أن يقطع مسافة المائة متر قبل أن يتمكن الراصد من سماعه، وسيستغرق ذلك جزءًا من الثانية، لكنه على أية حال زمن محدد، هو ٣٠٠ مللى ثانية

تقريبًا[٧]. وعند اللحظة "ب" نفترض أن القطار قد أصبح على مسافة ٩٠ مترًا من الراصد، حيث سيكون على الصوت أن يقطع مسافة ٩٠ مترًا، ولأن الصوت يسير بسرعة ثابتة، فإن ذلك سيستغرق ٢٧٠ مللى ثانية فقط؛ أى ١٠٪ أقل فى الزمن فى مقابل ١٠٪ أقل فى المسافة؛ و٣٠ مللى ثانية أسرع مما كان عند اللحظة "أ".. وبالطريقة نفسها، فالصوت عند اللحظات المتتالية "ج" ، "د"، .. إلخ سيأخذ وقتًا أقل ليصل للراصد، وهذا يعنى أن الصوت سيصل إليه "مضغوطًا" عندما يكون القطار مقتربًا منه.

بمجرد مرور القطار أمام الراصد الواقف على رصيف المحطة، يحدث العكس.. تخيل ـ الآن ـ أن القطار عند اللحظة "هـ" على بعد ١٠٠ متر من الراصد، فسيكون على الصوت أن يقطع مسافة ١٠٠ متر ليصل إليه، أى سيحتاج ٣٠٠ مللى ثانية، وبعد بُرهة سيكون القطار قد ابتعد ١٠ أمتار مثلاً عند اللحظة "و"، فسيعنى هذا أن الصوت عليه أن يقطع مسافة ١١٠ أمتار ليصل إلى الراصد، أى أنه سيستغرق ٣٣٠ مللى ثانية ليقوم بذلك: أى ٣٠ مللى ثانية أبطأ من الصوت عند اللحظة "هـ"، وعلى ذلك، سيصل الصوت "ممطوطًا" عندما يأخذ القطار فى الابتعاد. (راجع الصورة رقم ٩).

إن هذه المحاكاة بالقطارات التى تجرى عبر المحطات تبدو بعيدة تمامًا عن مجال علم الكونيات، لدرجة ربما بدا معها الربط بين تأثير دوبلرْ والضوء والنجوم وقضية نشأة الكون أمراً صعبًا. ومع ذلك، فإن دوبلرْ ربط التأثير،

---

(٧) المللىْ: بادئة معناها جزء من ألف جزء، فنقول ملليمتر أى جزء من الألف من المتر، ونقول مللى ثانية أى جزء من الألف من الثانية.. وهكذا. (المترجم).

المنسوب ـ الآن ـ إليه، بالضوء أولاً وليس بالصوت، إلا أن المبدأ يصعب إدراكه فى حالة الضوء، لأننا ببساطة لم نختبره فى حياتنا اليومية. ومع ذلك، فإن تأثير دوبللرْ كان المفتاح الذى ساعدنا على إنشاء الصورة الجديدة عن الكون والتى ظهرت مع بدايات القرن العشرين. وبمجرد قبولك لفكرة الصوت "المضغوط" عندما ترصد شيئًا يتحرك نحوك، و"الممطوط" عندما ترصد شيئًا يبتعد عنك، فستكون جاهزًا لفهم صورة الكون التى تنشأ نتيجة إدراكنا لتأثير دوبللرْ. ثمة طريقة أخرى لإيضاح الأمر تتمثل فى تصور قمم وقيعان موجة صوت تنضغط لتنتج ترددًا أعلى، أى صوتًا له نغمة حادة، أو ممطوطة لتعطى ترددًا منخفضًا ونغمة غليظة.

يسير الضوء بالطبع فى موجات بسرعة أعلى بكثير من سرعة الصوت، كما أن الصوت والضوء صورتان من صور الطاقة، وكلنا يعلم أن المصباح الكهربائى والسطح الساخن يعطيان ضوءًا وحرارة عندما نستخدم طاقتهما للإنارة أو الطهى، وربما كانت التطبيقات المباشرة للطاقة الصوتية غير شائعة، ومع ذلك فكلمات مثل "سونار"، "قياس الأعماق بالصوت" توضح جانبًا من هذه التطبيقات.

ونحن نميل للتفكير فى الضوء عادةً على أنه ذلك الذى نستطيع رؤيته بأعيننا فقط، إلا أن هذا الضوء المرئى يُمثل جزءًا صغيرًا فقط من الطيف الكلى ذى الأطوال الموجية المختلفة للطاقة، وعندما أنتج نيوتن ألوان قوس قزح من الضوء المنكسر عبر المنشور، كان فى حقيقة الأمر يفصل الضوء المرئى إلى أطوال موجية، أو ترددات مختلفة، الأحمر فى طرف من طيف ألوان

قوس قُزَح، متميزًا بتردد منخفض عن الذى للون الأزرق الواقع فى الطرف الآخر. وفوق النهاية التى بها اللون الأزرق أو البنفسجى للضـوء المرئـى توجد ترددات أعلى (أى أطوالاً موجية أقصر)، بداية مـن الضـوء فـوق البنفسجى، ثم الأشعة السينية عند طول موجى أشد قصرًا. وتحـت النهايـة الحمراء لطيف الضوء المرئى توجد موجات أقل ترددًا (أى موجـات أكثـر طولاً)، تبدأ بالضوء تحت الأحمر، الذى يؤثر فـى الألـواح الفوتوغرافيـة الحساسة، ثم الموجات القصيرة، ثم موجات الراديو، التى تم استخدامها لحمل إشارات الراديو والتليفزيون. ما الضوء المرئى، إذن، إلا جزء صغير مـن مجال واسع من "الموجات الكهرومغناطيسية"، وهو نوع من الطاقـة يمكـن رصده واستخدامه بطرق عديدة، كالأشعة السينية المستخدمة فـى الأعمـال التشخيصية بالمستشفيات، وأفران الميكروويف المستخدمة لأغراض الطهو.

يعتبر المدى الواسع للموجات الكهرومغناطيسية ذا فائدة كبيرة للفلكيين الذين يريدون رصد الكون فى لحظاته الأولى، ونحن نعرف كيفية قياس كل مـن الحرارة والضوء، كما أن كثيراً من الناس يدركون أن كلاً من الأشعة السينية والضوء تحت الأحمر لهما تأثير على الألواح الحساسة، ولكن ربما كان من غير المعلوم أن باستطاعة العلماء الكشف عن أجزاء أخـرى مـن الطيـف الكهرومغناطيسى، حتى وإن وُجِدَ فى صورة إشعاع ذى طاقة ضئيلة؛ كمـا يمكن الكشف عن الموجات بعد أن يبرد المصدر الذى أُشِـعت منـه بفتـرة طويلة، بنفس الطريقة التى نستطيع بها الإحساس بآخر وميض للحرارة مـن رماد نار منطفئة. يعنى هذا أن بإمكان الفلكيين رصد دليل على الأحـداث،

التى كانت متميزة بدرجة حرارة عالية يوماً ما ثم بردت بشكل كامل تقريبًا بعد مضى ملايين السنين. كما أنه فى بعض الأحيان يكون مصدر الإشعاع بعيداً جداً لدرجة أنه رغم ارتحال الموجات بسرعة الضوء، فإنها تأخذ مليارات السنين لتصل إلينا، ومن ثم يمكننا من دراسة موجات الضوء هذه معرفة ما الذى كانت عليه الأمور من مليارات السنين. ينطبق هذا على الضوء المرئى ــ أيضًا ــ والذى بناءً عليه يمكننا تقرير أن ما نشاهده فى التلسكوبات القوية من صور ما هى إلا أشياء تبعد عنا بعدد معين من السنوات الضوئية، وعندما نقول إن شيئاً ما يقع على بُعد عدد معين من السنوات الضوئية، فهذا يُعَبِّر ببساطة عن المسافة التى يبعد بها نجم أو مجرة ما عنا مُقاسة بالزمن الذى يقطعه الضوء ليصل إلينا.

ولأن على الضوء القادم من النجوم أن يقطع مسافات طويلة، فإنه سيُعانى تأثير دوبللرْ. ورغم أن دوبللرْ تبين أن التأثير الذى اكتشفه سينطبق على موجات الضوء كما انطبق على موجات الصوت، إلا أنه كان من الصعوبة بمكان اختبار نظريته تلك بتجربة بسيطة على سطح الأرض. وطالما أننا آخذون فى اعتبارنا الضوء المرئى، الذى يسير بسرعة عالية جداً، فإن سبب صعوبة رصد تأثير دوبللرْ سيكون بسبب مصدر الضوء ذاته، الذى لابد وأن يكون على بُعد كبير جداً من الراصد ويتحرك فى نفس الوقت بسرعة كبيرة ــ أيضًا ــ بالنسبة له، وإلا فإن أى "انضغاط" أو "مط" فى الموجات سيكون صغيرًا جدًا لدرجة يصعب معها الإحساس به. وقد أدرك دوبللرْ أن النجوم هى المصادر الضوئية الوحيدة تقريبًا التى تقع على بُعد كافٍ منا بحيث يمكن

رصد وتسجيل تأثير دوبللرْ لها ــ ذلك بالطبع لو كانت تتحــرك بســرعات عالية بدرجة كافية لقياس هذا التأثير؛ لذا اختار أن يدرس زوجًا من النجوم، التى اعتقد الفلكيون من خلال رصدهما أنهما يشتركان فى الحركة على مدار واحد، وأشار دوبللرْ إلى أنه إذا كان أحدهما فى وقت ما مبتعداً عنا فسيكون الآخر مقترباً منا، وستصبح المسألة أشبه ما تكون بنقطتين على حافة قرص يدور: إذا تحركت إحداهما مقتربة من الراصد فستتحرك الأخــرى مبتعــدة عنه، وعند تحرك النقطة الأولى مبتعدة عن الراصد تبدأ النقطة الأخرى فى التحرك ناحيته.

قام دوبللرْ بحساباته عند دراسته للضوء القادم من كل نجم على حدة، بحيث إن كان لهما المدار نفسه حقاً، فيجب أن يُسجل اختلافاً فى الأطوال الموجية، وسينبئه هذا بالطريقة التى يتحرك بها كل نجم، سواء أكان مبتعداً أم مقترباً. وبحرص شديد قام بإجراء انكسار للضوء القادم من كل نجم على حدة ورأى خطوط فراونهوفرْ المميزة لعنصرى الهيدروجين والهيليوم فى كــل طيــف، ولكن مع اختلاف واضح، فالخطان المتماثلان بطيف كل منهمــا كانــا فــى موضع مختلف اختلافاً طفيفاً.. بدا الأمر كما لو أن أحدهما قد "أُزيح" ناحية النهاية الزرقاء لطيف الضوء المرئى، والآخر نحو النهاية الحمراء.

لقد كان كل ما توقعه دوبللر صحيحاً؛ فأحد مصادر الضوء شوهد عند تردد أعلى، ناحية النهاية الزرقاء لطيف الضوء المرئى، متوافقاً مع موجة الضوء "المضغوطة"؛ والآخر عند تردد أقل، ناحية النهاية الحمراء للطيف، والتــى ترتبط بالموجة "الممطوطة". الإزاحــة الزرقــاء بالتــالى ســتكون ضــوءاً

"مضغوطاً" عندما يتحرك نجم منهما ناحيتنا، تمامًا مثل الصوت "المضغوط" للقطار المقترب، والإزاحة الحمراء ستكون الموجة "الممطوطة" من النجم المبتعد عنا، تماماً كالصوت "الممطوط" من القطار المبتعد.

بعبارة أخرى، أصبح من المستطاع معرفة وتحديد اتجاه حركة النجوم من خلال تحليل الضوء القادم منها، لنرى إن كان مُزاحًا ناحية الأحمر أو الأزرق، وكلما ازدادت إزاحة خطوط فراونهوفرْ نحو النهاية الحمراء أو الزرقاء للطيف، زاد "مط" أو "ضغط" الموجات؛ أى زادت سرعة ابتعاد النجم عنا أو اقترابه منا. وبهذا، وجد دوبللر من خلال تحليل الضوء وسيلة لتحديد كلٍ من اتجاه الحركة وسرعة كل مصدر ضوئى فى سماء الليل.

فى حين أقر الفلكيون إزاحة دوبللر كأداة جديدة يمكنهم استخدامها فى اكتشاف الكون، لم يكن هناك ــ رغم ذلك ــ رد فعل فورى ذو بال، وبالتأكيد لم يكن ثمة ما يشعل حماس المؤمنين بالخلق ضمن علماء الكنيسة، أو ما يهدد ــ بأية وسيلة ــ نموذج نيوتن عن الكون اللانهائى المستقر. والذى رآه دوبللر أكد ما كان الفلكيون يتوقعونه بالفعل: وهو أن النجوم تتحرك، وهو ما توقعه نيوتن عن كون ملىء بالأجسام السماوية المتحركة، وكذلك كان الحال ــ أيضًا ــ منذ عهد الإغريق القدامى، قبل أن يرى جاليليو الأقمار حول المشترى بوقت طويل، حيث أدرك الناس أن كثيرًا من الأشياء المتحركة لها مدار. ومع ذلك، فإن استخدام إزاحة دوبللر فى دراسة ضوء النجوم كان يجب أن تكون ذات تأثير ثورى فى فهم الكون، تأثير يماثل ــ تمامًا ــ تأثير أرصاد جاليليو أو نظرية نيوتن عن الجاذبية. كان المطلوب إذاً

مهنيًا محترفًا يستخدم الأدوات الفيزيائية بشكل جيد ليستجلى الحقيقــة؛ إلا أن ذلك الشخص المطلوب لم يظهر إلا بعد مُضى سبعين سنة أخرى.

رسم خريطة للمجرات

عندما فعلها، كانت له الشخصية الكبيرة بما فيه الكفاية ليؤدى الــدور.. إنــه الشاب الأمريكى "إدوينْ هابلْ"، المولود عام ١٨٨٩، والذى فكر فى احتراف الملاكمة، ثم حصل على درجة الدكتوراه فى القانون من جامعة "أكســفورد" قبل أن يقرر بشكل نهائى أن يُصبح فلكياً. ويتذكره بعض معاصــريه فــى العشرينيات بمرصد جبل "ويلسونْ" فى "كاليفورنيا" كراصد شــديد التــدقيق، يضع بصبر وأناة كل جزء من أدلة الرصد جنبًا إلى جنب، كمــا لــو كــان محاميًا يُعد الدفاع لقضيته، ويتذاكر آخرون ذلك الإلهام العقلــى الغريــزى لرجل قُدِّرَ له أن يرى معنى كل شيء فى لحظة بصيرة.. وربما كــان فــى الحقيقة هذا وذاك.

لقد استغل هابلْ أكبر تلسكوب ضوئى فى عصره، على قمة جبل ويلسونْ فى كاليفورنيا، حيث أراد فى البداية دراسة المجرات البعيدة، ليرى ما إذا كــان من الممكن أن يعرف شيئاً جديداً عنها من خلال فحص الضوء الذى تُشعه ـــ مستخدمًا بصمات فراونهوفرْ وإزاحة دوبللرْ ـــ فى محاولــة للتــدقيق فــى تركيبها الكيميائى وحركتها. كذلك، كانت لديه طريقة أخرى نافعة مكَّنته من تعيين مدى بُعد هذه المجرات عن الأرض. (راجع الصورة رقم ١٠).

كانت الطريقة الأساسية المستخدمة فى تعيين أبعاد النجوم عن الأرض قُبيل القرن العشرين قد بقيت بدون تغيير تقريبًا لمدة ألفى سنة، وبالطبع، تطورت الوسائل لتُصبح أكثر دقة منذ استخدم إيراتوسثينيسْ والإغريق القدامى العصىّ والهندسة لحساب المسافة إلى الشمس، وظل تحديث الحسابات ممكناً، ولكن فى حدود. ثم تقدمت الرياضيات بشكل كافٍ لحساب المسافة إلى النجوم القريبة فى مجرتنا، ولكن ليس لأبعد من ذلك. وفى عام ١٩١٢، اكتشفت "هينريتا ليفيتْ" نوعًا من النجوم أحدث طفرة فى طريقة قياس الفلكيين للمسافة.. بما أن النجوم تتألق، فكثير منها تتغير شدة إضاءته من وقت لآخر، والأسباب فى ذلك معقدة وأقل أهمية من اكتشاف ليفيتْ الذى يقرر أن ذلك التغير فى شدة إضاءة هذه النجوم يمكن توقعه باقتدار من خلال الأرصاد، وقد سُميت بعضٌ من هذه النجوم باسم "النجوم القيفاوية"(٨) بسبب المكان الذى تم رصدها فيه أول مرة بالمجرة.

توجد فى مجرتنا نجوم قياسية (أو قيفاوية) بالمئات مقارنة بالمليارات من الأنواع الأخرى للنجوم، وبمجرد الكشف عن واحدة منها سيكون تمييز اختلاف شدة إضاءتها ـ قياساً على النجوم الأخرى ـ واضحًا تمامًا بحيث يكون بالتأكيد نجماً قياسياً. يشبه ذلك الكشف عن زهرة صفراء اللون فى حقل من الزهور ذات اللون الأحمر. وبسبب سهولة الكشف عن النجوم

(٨) نسبة إلى المجموعة النجمية "قيفاوس" التى تظهر بالنصف الشمالى من الكرة الأرضية حيث تم اكتشاف هذه النجوم بها أول مرة، وسوف نطلق عليها من الآن فصاعدًا اسم "النجوم القياسية" لأنها تستخدم كأداة لقياس أبعاد المجرات عنا من خلال قياس شدة اللمعان النسبى. (المترجم).

القياسية، فإن لها مُستوًى مضبوطًا من اللمعان الكلى له علاقة بعدد المــرات التى يتحول فيها لمعان هذه النجوم من قمته إلى أدناه.. لقد كان ذلــك الــذى منح هابلْ الوسيلة التى يمكنه بها قياس المسافة من الأرض لأبعــد أركــان الفضاء. ثم من الرياضيات التقليدية يمكن حساب بُعد أقرب نجــم قياســى، وقياس لمعانه أو نصوعه، وبالتالى يُصبح لدينا أداة للقياس يمكن بهــا عقــد المقارنات.. لنفرض مثلاً أننا نريد معرفة المسافة بين الأرض ومجرة مــا، فإن أول ما سنفعله هو محاولة الكشف عن نجم قياسى فــى المجــرة التــى ندرسها، ليكون بإمكاننا مقارنة لمعانه بالنسبة للضوء القادم من نجم قياســى على مسافة معلومة من الأرض، وستُقابل النِسَب المختلفــة للّمعــان نســب مختلفة لفرق الأبعاد عن الأرض.

يعنى هذا أنه طالما كان بمقدور التلسكوبات القوية التقاط الضوء المتغير لنجم قياسى فى مجرة بعيدة، والممكن تمييزه بلا خطأ، فسيكون من الممكن حساب بُعده عن الأرض. وقد تجهز هابلْ للمهمة الثقيلة كى يرسم خريطة للكــون، مجرة مجرة. وبالطبع كان على دراية بأن ليس بإمكانه ــ فقط ــ دراسة بُعد كل منها عن الأرض، عن طريق مقارنة نجم قياسى بها مع آخر فى مجرتنا، بل سيكون بإمكانه ــ أيضًا ــ معرفة مكونات كل مجرة، عن طريق خطوط فراونهوفرْ فى الضوء المنكسر للتعرف على العناصر الكيميائية التى تُكــوِّن نجومها. كذلك أمكنه الحصول على ما يساعده فى معرفــة الاتجــاه الــذى تتحرك فيه المجرة، وبأية سرعة، باستخدام مقدار إزاحة دوبللرْ للبصمة فــى الضوء المنكسر القادم من المجرة، بحيث كلما كان الضوء أكثــر إزاحــة،

"منضغطًا" أو "ممطوطًا"، كانت السرعة أكبر. وبصبر، قام هابل، وفريق العمل معه، بعزل الضوء القادم من كل مجرة بعيدة عن باقى أضواء الأجسام السماوية الأخرى، ثم قام بكسره وتحليله، وبالتالى تم بناء صورة كاملة عن الكون على قدر الاستطاعة، بحيث بدت المجرات كوحدات البناء الرئيسية.

بلا دهشة، وجد فريق العمل أن العنصرين الأكثر وفرة فى تكوين كل المجرات هما الهيدروجين والهيليوم، وأكد هذا تمامًا ما رآه ويليامْ هيجنزْ. أما الشيء الأكثر إثارة فتمثل فى تميز كل الضوء الذى قاموا بتحليله بإزاحة حمراء، وبعبارة أخرى، كانت كل مجرة تبدو متحركة بعيدًا عنا. ومن النجوم القياسية التى أمكنهم الكشف عنها، تبين أن المجرات أبعد بكثير مما كان مُتَصَوَّرًا، فبعضها كان على بُعد مليارات السنين الضوئية، وبالتالى فإن ما رآه هابلْ وفريقه لم يكن سوى الضوء الذى انبعث منها منذ زمن بعيد بحيث يوضح ما كانت عليه تلك المجرات من قبل، وبالتالى فهى تعطينا تصوراً عن تطورها منذ حوالى ثمانية آلاف مليون سنة مضت. وقد تميز الضوء القادم من تلك المجرات البعيدة بإزاحة حمراء أكبر من غيرها، وبمعنى آخر، فتلك المجرات البعيدة ذات العمر الكبير كانت تتحرك مبتعدة عنا بسرعات ظاهرية أكبر من سرعات المجرات الأقرب إلينا.

الكون المتمدد

إن ما اكتشفه هابلْ كان غير متوقع بالمرة، لدرجة جعلته أمراً لا يمكن استيعابه على الفور؛ إذ اتضح أنه حيثما نظرت، فليس سوى أنظمة ديناميكية

عديدة يتحرك فيها كل شيء مبتعداً عنا. أحد الأمثلة الجيدة على ذلك، البالون المنتفخ: لنفرض أنك وضعت علامة على سطح بالونة، ثم قمت بوضع علامات أخرى بطريقة عشوائية حول العلامة الأولى، فعند قيامك بنفخ البالونة يتمدد غشاؤها وترى العلامات فوق سطحها تبتعد عن العلامة التى وضعتها أولاً، وبعبارة أخرى، فالكون كالبالونة المنتفخة، متمدد بطريقة أو بأخرى.

من العجيب حقًا أن نعتقد أن مثل هذه الخاصية الديناميكية للكون ممكن أن تنشأ من دراسة ضوء النجوم وتحليله، لقد كان ذلك كشفاً جدياً ومروعاً لدرجة أن العديد من الفيزيائيين شككوا فى صحة تفسيرات هابلْ، وشعروا بأن ثمة تفسيرًا آخر.

مع هذا كله، كان هابلْ قادرًا على إيضاح العلاقة الثابتة بين سرعة حركة المجرات، كما تظهر من الإزاحة الحمراء لطيفها، وبُعْدها عن الأرض، الذى يتم تحديده من قياس شدة لمعان الضوء من النجوم القياسية، وكانت أرصاده متوافقة بامتياز؛ فكل شيء على بعد معين من الأرض كان له السرعة نفسها التى يتحرك بها مبتعداً عن الأرض. وكلما زادت المسافة، زادت السرعة، بل لقد كان هابلْ قادراً على كتابة معادلة رياضية ليُعَبَّر بها عن تلك العلاقة الدقيقة ــ عُرفت فيما بعد بقانون هابلْ ــ واتضح أنها تتفق تماماً مع المعلومات التى جُمِعَت فى كل مرة عن مجرة جديدة.

لقد كان الكون المتمدد مبدأ صعباً لمعظم العلماء الماديين الذين اختاروا لأنفسهم فكرة الكون اللانهائى المستقر غير المتغير. ولأن الشىء المتمدد يصعُب ألا يكون متغيرًا، فقد كان هناك إغراء كبير لانتقاص أو إهمال قيمة وجهة نظر هابلْ. وبالرغم من ذلك، أثار الكشف الجديد بالفعل مجموعة واحدة ـ على الأقل ـ من العلماء، وعلى وجه الخصوص أحد الفلكيين النظريين، الذى كان قِسًّا فى الفاتيكان، وربما كان صاحب أكثر التفسيرات قوة لتصور هابلْ عن الكون المتمدد.

الفصل الرابع

فى البداية ..

فى عام ١٩٢٧، كان القس الجيزويتى[٩] البلجيكى، "جورجْ لـوميترْ"، عـالم الكونيات النظرى فى مرصد الفاتيكان، يتأمل ويفحص بعض أفكار ومعادلات "ألبرتْ أينشتاينْ" عن الجاذبية والتثاقل، وقرر بحماس أنه يريد ـ ببساطة ـ أن يصيغ نموذجاً رياضياً للكون يتوافق مع نظريات أينشتاين، إلا أن لـدى البعض قناعة بأنه كان يحاول الوصول لوصف للكون يسمح بوجود لحظـة الخلق: أى الوصول لتصور يمكن به استبعاد نموذج نيـوتن عـن الكـون اللامتناهى المستقر؛ إذ كان من المهم للكنيسة الكاثوليكية أن تجـد مخرجـاً يمكنها من خلاله جعل أفكار الخلق فى الكتاب المقدس متوافقـة مـع كـل الاكتشافات العلمية عن الكون، الأمر الذى كان يُعد مطلبًا عسـيراً بالنسـبة للعلماء فى مرصد الفاتيكان. ويبدو ـ ظاهرياً ـ أن لوميترْ أراد البحث عن أدلة جديدة تؤيد أن الكون محدود، وبالتالى لا بد وأن تكون له بداية.

كل شيء نسبى

عمل لوميترْ من خلال نظريات أينشتاين، بسبب أن الأخير قد أصبح بسرعة أشهر العلماء النظريين فى زمانه. لقد دَوَّن أينشتاين أفكـاره عـن قـوانين

---

(٩) "الجيزويت" نوع من الرهبنة المسيحية فى فرنسا والمنتشرة بأنحاء العالم. (المراجع).

الفيزياء أثناء عمله بمكتب براءات الاختراع بمدينة "بِرْن" "بسويسرا" ليتكسب ما يعينه على معيشته ولينفق على عمله الأكاديمى، حيث قام بنشر عمله الأساسى الأول عام ١٩٠٥، والذى يعتبر إحدى نظريتين عن النسبية، وكانت تسمى النسبية الخاصة، أما النظرية الثانية فقد نشرها عام ١٩١٥ وعُرِفَت بالنظرية النسبية العامة، وكلتاهما كانت تبحث الطريقة التى يرتبط بها حدث ما ـ سواء أكان الحدث فيزيائيًا[١٠] أم ديناميكيًا[١١] ـ مع من يرصده، حيث تتطرق النسبية الخاصة أساساً لدراسة ما يحدث عندما يكون الراصد متحركاً بسرعة ثابتة بالنسبة لمكان الحدث وزمانه، أما النسبية العامة فقد أدخلت ـ أيضًا ـ تأثير التثاقل على هذه العلاقات، واقترحت من ثم ما يحدث عندما تزداد أو تقل سرعة حركة جسم ما. وما تزال النظريتان عسيرتى الفهم بشكل كامل[١٢]، إلا أنه قد تم الاعتراف بهما عالمياً كأفكار وَضعَت صاحبها على المسرح العالمى للعلم. (راجع الصورة رقم ١١).

وأينشتاين لم يخطط بالضبط لتفسير ما يحدث فى الكون، لكن نظرياته كانت بالقطع مثار اهتمام علماء الكونيات، لأنه أخذ على عاتقه إعادة صياغة قوانين الفيزياء التى ظلت غير قابلة للتحدى منذ عهد نيوتن. حيث برهن على أن قوانين الفيزياء يجب أن تكون واحدة من أى موضع يتم اختبارها منه،

---

(١٠) مثل تغير بعض الخواص الطبيعية ـ كالكثافة والضغط ـ لأى نظام مع تغير الزمان والمكان. (المراجع).

(١١) مثل حركة الأجسام السماوية، أى تغير أماكنها بالنسبة للزمن. (المراجع).

(١٢) لغير المتخصصين؛ إذ يتطلب استيعابها خلفية تعليمية مناسبة فى العلوم الرياضية والفيزيائية. (المراجع).

ونشأت هذه الفكرة من إدراكه أن الحدث نفسه يمكن أن يظهر لراصدين مختلفين بطريقتين مختلفتين اعتماداً على مواقعهما النسبية. ولقد نشأت يوماً بعد يوم أمثلة إيضاحية لهذه الأفكار، كانت إحداها تجربة مررنا بها جميعاً فى وقت من الأوقات عندما يقف قطاران جنبًا إلى جنب بالمحطة، فإذا كنت راكبًا فى أحد القطارين وتنظر من الشباك إلى القطار الآخر عندما يبدو لك كما لو كان قد بدأ يتحرك، فتمُر ثانية أو ثانيتان لا يمكنك أثناءها أن تعرف بالضبط أى القطارين الذى قد بدأ فى التحرك بالفعل، وسيكون كل ما بوسعك إدراكه معرفة أن أحد القطارين يتحرك بالنسبة للآخر، وبالتالى يأتى ذكر مفهوم النسبية.

دعنا الآن نتخيل الموقف التالى: راصد على متن قطار وآخر على رصيف المحطة التى يتحرك القطار نحوها، فلو كان هناك كوب موضوع فوق طاولة أمام الراصد الذى على متن القطار على بُعد ٦٠ سنتيمتراً منه، فسيبدو ثابتاً غير متحرك بالنسبة له، أما الراصد الواقف على رصيف المحطة، فسيلاحظ (من خلال نافذة القطار مثلاً) أن الكوب يندفع بسرعة عندما يندفع القطار نحو المحطة.

لقد أدت بصيرة أينشتاين النافذة إلى المناداة بضرورة إعادة صياغة قوانين الفيزياء بطريقة تبدو فيها قوانين الحركة متوافقة، إذ يجب أن تؤخذ فى الاعتبار مفاهيم العَجَلة (أى التثاقل) وكمية الحركة، الداخلتان فى مسألة الرؤيتين المختلفتين ــ ظاهرياً ــ للكوب، وكان هذا يعنى فهماً أفضل لطبيعة الزمان والمكان، وكيف يؤثران على الأشياء. على كل، فالذى تسبب فى

وجود الرؤيتين المختلفتين للكوب كان موقعهما المختلف لكل راصد بالنسبة للكوب فى الزمان والمكان، فأحدهما كان "مسافرًا" فى الزمان والمكان مع الكوب، وبالتالى ظل موقعه النسبى للكوب على بُعد ٦٠ سنتيمتراً أمامه، أى أن الكوب ظل فى مجال رؤيته طالما سافرا سوياً فى الزمان والمكان بطريقة متماثلة، أما الراصد الآخر، فقد كان، بالمقارنة، ساكناً فى الزمان والمكان بالنسبة للكوب المتحرك، بحيث دخل مجال رؤيته وخرج منه فى وقت قصير.

الانغماس فى الزمان والمكان

طور أينشتاين معادلات رياضية لوصف الأنواع المختلفة من هذه العلاقات، بحيث شكلت فى مجملها تعريفاً لطبيعة الزمان والمكان؛ وكانت لها استتباعات ذات دلالة بالنسبة لعلماء الكونيات. بداية، اتضح أن الزمان والمكان من وجهة النظر الرياضية شيء واحد، وبالتالى، يجب تنقيح تفسير نيوتن للجاذبية، الذى كان يبدو دقيقاً يوما ما. فقد أعلن أينشتاين بوضوح انتفاء ما يُعرف باسم التجاذب بين جسمين، الذى اقترحه نيوتن، وإنما كل ما هنالك تأثير لكل منهما فى الزمان والفراغ الذى يوجدان به، وبالتالى فإن أى تأثير جذبى سيكون بسبب ذلك، وإذا كان من الصعب استيعاب هذا المفهوم، فيمكنك تخيل جسم ثقيل – مثل كرة من الحديد (تمثل الشمس) – وقد وُضعت وسط لوح مطاطى مشدود يمثل الزمان والفراغ، حيث يؤدى وزن الكرة إلى انغماسها فى اللوح المطاطى مكونة انبعاجاً مخروطياً حولها، الأمر

الذى يُذكرنا بسطح دوامة الماء المندفع عبر ثقب بالوعة. (راجع الصورة رقم ١٢).

لقد أوضح أينشتاين أنه حال انحناء الزمان والفراغ بهذه الطريقة، بسبب وجود جسم ثقيل بهما، فسيؤثر ذلك بالتالى فى أى جسم أخف وزناً إذا مر بجواره، وعلى ذلك، فإن كرة صغيرة ـ تُمثل الأرض أو أيًا من الكواكب الأخرى ـ من الممكن أن تدور حول اللوح المطاطى المشدود، والممثل للزمان والفراغ، فى اتجاه الانبعاج حول الكرة الأثقل التى تمثل الشمس، فإذا تحرك الجسم الأخف ببطء شديد، فسوف يهبط مباشرة فى الانبعاج وبالتالى يصل لسطح الشمس (بالضبط كتفاحة نيوتن الهابطة إلى سطح الأرض)، أما إذا تحرك الجسم الأخف بسرعة كبيرة، فسينحرف مساره فى اتجاه الشمس ليدخل فى الانبعاج ثم يعاود الخروج منه من الناحية الأخرى مستكملاً رحلته، وعند تحرك الكوكب بسرعة كافية فإنه لن يسقط فى الانبعاج، إلا أن سرعته لن تكون كافية للفكاك منه، وإذا لم يؤثر عليه شىء يوقفه أو يبطئ من حركته، فسيجد مستوى يتحرك فيه على "حافة" الانبعاج، وبالتالى يبقى دائراً حول الشمس، مثله فى ذلك مثل قائد موتوسيكل حلبة الموت[١٣] الذى يدور ويدور دون أن يسقط.

إن الصيغ الرياضية التى تصف الجاذبية على هذا النحو تعطى نتائج قريبة الشبه بنتائج نيوتن التى تُعد أكثر بساطة (من ناحية معادلاتها)؛ لكنها

---

(١٣) لعبة خطرة يدور فيها قائد دراجة بخارية على جدار دائرى بسرعة كافية تحفظه من السقوط. (المترجم).

بالإضافة لذلك تعطى نتائج صحيحة تتوافق ــ تمامًا ــ مع مدار كوكب عطارد حول الشمس، والذى ربما مازلنا نتذكر أن صياغة نيوتن لم تستطع التنبؤ به بدقة [١٤]. لقد كان ذلك دليلاً حاسمًا على صحة نظرية أينشتاين، أو على أقل تقدير اعتبارها تحسيناً لتفسير نيوتن للجاذبية. وفى تجربة، سنعرض لها فيما بعد، تمت دراسة الضوء القادم من أحد النجوم أثناء خسوف الشمس، حيث أكدت التجربة ــ أيضًا ــ دقة توقعات أينشتاين. وكان من الطبيعى أن يبدأ الفيزيائيون فى التفكير على نحو جديد: فى حالة اتفاق شيء ما قد تم رصده أو قياسه مع نظريات أينشتاين، فمن الممكن أن يكون صحيحاً!

كان لوميترْ أثناء دراسته لمعادلات أينشتاين قد اكتشف شيئاً أثار انتباهه؛ إذ كانت إحدى نتائج رياضيات أينشتاين تتضمن أن الكون يُعتبر نظاماً ديناميكياً متحركاً وليس استاتيكياً ساكناً. ومن السهولة إدراك السبب، فإذا كان الزمان والمكان "منبعجين" بتأثير أى جسم له كتلة، بالتالى عند مرور جسم سماوى بآخر فسينجذب ناحيته. ولو أن الكون ساكنًا لكانت كل الأجسام قد جُذبت تجاه بعضها البعض، ولامتزجت كل الكتل فى قاع أكبر انبعاج للزمان والمكان! كانت تلك ذات المشكلة التى أرقت نيوتن عندما طلع على الدنيا بنظريته عن الجاذبية؛ إذ كيف يمكن لكل المادة فى الكون أن تظل مبعثرة

---

(١٤) تخبرنا دراسة الحركة باستخدام نظرية نيوتن أن كوكب عطارد يتحرك فى مدار بيضاوى مغلق ليعود إلى نفس النقطة التى بدأ رصده عندها، ولكن الرصد الفعلى له أظهر أنه لا يعود لنفس تلك النقطة، بل لنقطة أكثر قربًا من الشمس. (المراجع).

على النحو الذى نراه ونرصده بالتلسكوب بعد مضى ملايين السنين؟ ولماذا لم تنجذب إلى بعضها البعض بتأثير الجاذبية لتتحول لكتلة ممتزجة واحدة؟ وفى حين حصرت نظرية نيوتن نفسها فى التجاذب بين الأجسام، قدمت نظرية أينشتاين رياضيات تشرح لنا طريقة تغير الزمان والمكان عندما يؤثر فيهما جسم له كتلة، وفى حين لم يستطع نيوتن تجنب فكرة انجذاب كل الأجسام لبعضها، فإن رياضيات أينشتاين كانت قادرة على تجنبها، لقد جعل أينشتاين للزمان والمكان إمكانية التغير فى وجود الكتلة، وبالتالى فالزمان والمكان يجب أن يمثلا نظاماً ديناميكياً وليس نظاماً ساكناً. على هذا، فالزمان والمكان، والكون أيضًا، لا يمكن أن تظل هكذا بدون تغير؛ وإذا تعين عليها أن تتغير، فمن الممكن فقط أن تتضخم أو تتضاءل، أى أن الكون يجب أن يتمدد أو ينكمش ببطء.

رنجة أينشتاين الحمراء

لقد وضع ذلك أينشتاين بنفسه، ولم يكن سعيداً به. كمؤمنٍ راسخ الإيمان بأفكار نيوتن عن الكون اللانهائى غير المتغير، حدثته نفسه أن ثمة قانونًا فيزيائيًا يمنع التمدد الكلى أو الانكماش الكلى؛ بمعنى أنه يجب وجود شيء ما يسمح بالتغيرات الموضعية عندما يتأثر الزمان والفراغ بالكتلة، بحيث لا تتأثر حالة الكون ككل، وبناءً على ذلك أضاف أينشتاين مُعاملاً إضافياً لمعادلاته أسماه "الثابت الكونى" يُمثل نوعًا من قوى التنافر الضعيفة فى

محاولة لمُلاشاة التأثير الجذبى للداخل، وبالتالى يتم منع حركة الكتل نحو نقطة الجذب التى تؤدى إلى تركيز كل مادة الكون فى نقطة واحدة(١٥).

إلا أن لوميتر لم ير داعيًا لإقحام ذلك "الثابت الكونى". ولإيضاح ذلك، افترض أننا قَبِلنَا النموذج الرياضى الذى يسمح بالتمدد البطىء للكون، سيعنى ذلك أن القُوى التى تجعل الكون يتمدد تضاد قوى التجاذب، وبالتالى ستبقى كل المادة فى الكون منفصلة. ليس هذا وحسب؛ بل لو كانت قوى التمدد أكبر قليلاً من قوى الجذب، فمن الممكن أن يظل الكون فى حالة تمدد ليصبح ــ غدًا ــ أضخم من اليوم، كما سيعنى ذلك ــ أيضًا ــ أنه كان بالأمس أصغر منه اليوم، فإذا رجعنا بالزمن إلى الوراء بالتدريج، فسنجد أن الكون كان أصغر وأصغر، وهذا معناه أنه كان عند نقطة ما، موغلة فى القِدَم، فى أصغر حجم ممكن.

اقترح لوميتر أن هذه النقطة ستكون لحظة بداية الكون، أو لحظة الخلق التى طالما بحثت عنها الكنيسة، فاعتقد أنه قد وجد النموذج الكامل للكون، بحيث يصبح: كونًا خلقه الرب على هيئة "ذرة بدائية" استمرت فى النمو والتمدد مثل شجرة بلوط عملاقة نمت من بذرتها الصغيرة؛ وهو كون يتبع فى الوقت ذاته، وبأمانة، رياضيات أينشتاين، المُعَلِم الروحى لزمانه، وهو ــ أيضًا ــ

(١٥) تاريخياً، حدث أن أينشتاين اكتشف تمدد الكون تبعاً للنموذج الرياضى الذى تم تصميمه باستخدام النظرية النسبية العامة، ثم أضاف "الثابت الكونى" إلى المعادلات التى تصف مجالات التثاقل حتى يوقف تمدد الكون بما يجعل نظريته تتفق مع سكون (استاتيكية) الكون. (المراجع).

كونٌ يحل بالمصادفة المشكلة التى وقع فيها أينشتاين مع التمدد الذى تنبأت به معادلاته الأصلية دونما الحاجة لإضافة الثابت الكونى. ولسوء حظ لـوميتر، ظل أينشتاين غير مكترث، حيث ألمح إلى قِلة استيعاب لـوميتر للفيزياء المتضمنة فى الموضوع، وأشار إلى أنه من "الواضح" أن الكـون يجـب أن يكون لانهائياً، مستقراً، وغير متغير، واعتبر أنه من السَخف اقتراح لحظـة للخلق من ذرة بدائية. وإذا كان أينشتاين ـ المعلم الفذ فى زمانه ـ متأكـداً تماماً من خطأ الفكرة، فمن ذا الذى ستواتيه الجرأة فى الحقل العلمى ليـؤمن بفكرة لوميتر الغريبة؟ أما الكنيسة الكاثوليكية، فقد ابتهجـت بـالطبع لهـذه الفكرة، وشجعت لوميتر على التمسك بها. وبعد عامين سمع لوميتر الأخبار التى تمنى سماعها بعد يأس، لقد كان هناك دليل علمى آخر على تمدد الكون، فقد رصد هابلْ الإزاحة الحمراء لضوء النجوم(١٦)، ووفق تأثير دوبللر فـإن ذلك كان يعنى أن الكون يتمدد.

لقد أصبحت مسألة وقت.. فقد اهتم أينشتاين بعمل هابـلْ واعتـزم زيارتـه بمرصد جبل ويلسونْ، وخطط لوميترْ فى الوقت ذاته لإلقاء محاضـرة فـى معهد كاليفورنيا للتقنية، كما خطط لوضع أينشتاين وهابل فى مواجهة، وقـام ببرهنة نظريته عن "الذرة البدائية" بدقة، خَطوة خطوة، مقترحاً أن الكون كله قد خُلِق فى "اليوم الذى ليس له أمس"، ثم عرض الرياضيات المتضمنة فـى الموضوع باجتهاد كبير، وعندما انتهى من ذلك، لم يصدق أذنيه، فقد وقـف

(١٦) المقصود هنا أساسًا الضوء القادم من المجرات؛ إذ هى وحـدات البنـاء الرئيسـية للكون. (المراجع).

أينشتاين ليُعلن أن ما سمعه لتوه كان "أجمل تفسيراً وأكثر إقناعاً" واعترف أن اختلاقه للثابت الكونى كان أكبر تخبط فى حياته. (راجع الصورة رقم ١٣).

كان هذا نصراً كبيراً للكنيسة الكاثوليكية، التى أصبح لديها ــ الآن ــ نموذج للكون يتضمن لحظة الخلق، وهو نموذج يتفق مع الصورة التى يعطيها الكتاب المقدس، وأيده فى الوقت نفسه أكبر عالِم فى عصره؛ بل أكثر من ذلك، أمكن من الدراسة الدقيقة للبيانات التى حصل عليها هابلْ تحديد المقياس الزمنى المتضمن فى هذا الموضوع، فبحساب سرعات ارتحال المجرات (من قياس مدى الإزاحة الحمراء)، ومن معرفة بُعدها عن الأرض، وعن بعضها البعض فى نقاط مختلفة من الزمن (باستخدام المعلومات التى لدينا عن النجوم القياسية بكل مجرة)، أمكن الرجوع للوراء فى الزمان حيث كانت كل المجرات منسحقة مع بعضها فى نقطة واحدة، لقد كانت تلك هى لحظة الخلق التى افترضها لوميتر؛ وتبين أنها كانت منذ حوالى خمسة عشر مليار سنة مضت. إن هذه الصورة المختلفة جوهرياً تصف لنا كوناً ديناميكياً نما من نقطة بداية محددة، وهى تقترح علينا بوضوح أن فكرة الكون اللانهائى غير المتغير ربما كانت خطأً تمامًا.

إلا أن العديد من العلماء البارزين ــ بالذات من جماعة الماديين الذين لا يؤمنون بوجود الخالق ــ ظلوا على اعتراضهم؛ إذ بدت لهم فكرة الكون النامى من شيء أصغر من الذرة منافية للعقل ولا يمكن أخذها على محمل الجد، ومن ثم خططت مجموعة ذات شأن من "كيمبريدجْ" لإيجاد التفسير البديل. فقدموا فكرة مُفادها أننا لا نرى الصورة الكاملة للكون؛ إذ من الجائز

أن يكون النطاق الذى يمكننا رؤيته من الكون يتمدد، لكن ربما كانت ثمة حركة انكماش فى الاتجاه المضاد فى مناطق أخرى خارج نطاق رؤيتنا؛ والكون ككل يمكن أن يكون فى حالة ثبات، لكنه يتضمن مناطق تتمدد وأخرى تتكمش تغلى جميعها كفقاقيع الماء للأبد، مثل مرجل مياه ضخم. وعلى كل، تبنى أولئك وجهة النظر تلك على أساس أن رياضيات أينشتاين تسمح بالتمدد والانكماش.

حياة النجوم وموتها

كان العالم "فْرِيدْ هُويلْ"، الفيزيائى الإنجليزى المادى، أحد أهم علماء زمانه، ضمن المُنَظِّرين المؤيدين والمشاركين فى وضع نظرية "الحالة المستقرة". كانت إحدى الأفكار المتضمنة بالنظرية ظاهرة تولد نجوم جديدة بالجزء المتمدد من الكون كلما اتسعت المسافات بين المجرات حتى يتم ملء الفراغات الناشئة عن التمدد، وكان أهم إنجازات هُويلْ وزملائه هو شرح دورة حياة النجوم المُشار إليها فى تلك الفكرة.

لقد خطا العلماء فى بدايات القرن العشرين خطوات واسعة لفهم طبيعة المواد التى تتكون منها النظم المختلفة فى الكون: أى العناصر الكيميائية المختلفة التى يتكون منها كل شىء فى الكون، والجسيمات تحت الذرية ـ كالإلكترونات وغيرها ـ التى بدورها تؤلف ذرات تلك العناصر الكيميائية. وبينما كان هُويلْ وزملاؤه يدرسون النجوم، كان من المعلوم أن العناصر الكيميائية الأولية يمكن فقط أن تتكون فى أماكن ذات حرارة وضغط هائلين

ـ أكبر بكثير من مقاديرهما على الأرض، ودلَّ هذا على إمكانية أن تكـون هذه النجوم مصانع تتكون فيها تلك العناصر الكيميائية الأوليـة. وإذا كانـت نظرية الحالة المستقرة تتطلب مولد نجوم جديدة لملء الفراغات فى الجـزء المتمدد من الكون، فلنا أن نتساءل: لماذا لا نفترض أن للنجوم دورة حياة بها لحظات للميلاد ولحظات أخرى للوفاة، بحيث يكون لها عُمر يسمح لها بإنتاج كل العناصر الكيميائية؟ لقد كانت الصورة التى كونها هُويلْ ـ وآخـرون ـ أن النجوم تتكون عندما تتجاذب ذرات الهيدروجين مع بعضها البعض فـى الفضاء لتتحول إلى كُرات متنامية، وكلما كبرت الكرات زاد الجذب الداخلى بينها باطراد (مثل كرة متدحرجة من الثلج تجمع مزيدًا ومزيدًا منـه كلمـا تدحرجت)، وفى نهاية المطاف سيصبح هذا الجذب كبيرًا جـدًا، لدرجـة أن بعض ذرات الهيدروجين ستندمج معًا مكونة عنصـر الهيليـوم ـ ثانـى عنصـر بعـد الهيدروجين من حيث الوزن الذرى.

وكما يحدث فى أى تفاعل نووى، تتضمن عملية الاندماج النـووى تحريـر كميات هائلة من الطاقة، (وأكثر الأمثلة المثيرة على ذلك الطاقة المتحـررة على سطح الأرض من تفجير القنابل النووية، ولكنه مثال مُصغر بالمقارنـة بالانفجارات النووية التى تحدث فى النجوم، ويمكن تمثيل ذلك بمقارنة انفجار بالون مما يلعب به الأطفال بانفجار كوكب الأرض كلـه)، وكلمـا انـدمج الهيدروجين متحولاً لذرات هيليوم، تُستهلك الطاقة الناشئة من هذا التحول فى عمليتين: أولاهما، أن جزءًا كبيرًا من هذه الطاقة يُنـتِج ضـغطاً انفجاريـاً للخارج كى يعادل الضغط الناشئ عن تجاذب ذرات الهيـدروجين للـداخل،

الأمر الذى يسمح للنجم بالبقاء متزناً لمليارات السنين؛ وبغض النظر عن كل التفاعلات الاندماجية التى تحدث داخله، فإن النجم لا ينفجر كقنبلة ولا ينهار تحت تأثير الجاذبية، بل يبقى فى وضع اتزان. وثانيتهما، أن الجزء المتبقى من تلك الطاقة التى لم تستهلك فى عملية الاتزان، يهرب من النجم إلى الفضاء فى صورة إشعاع ضوئى وحرارى. كذلك قدمت نظرية هُويلْ، بحديثها عن خلق العناصر، حلاً محكماً لمسألة قديمة غامضة؛ إذ فسرت سبب لمعان النجوم.

ذكر هُويلْ، وآخرون، أن النجم فى نهاية عُمره سيأتى عليه وقت يتم فيه استهلاك معظم الهيدروجين داخله ليصبح الهيليوم العنصر السائد، ومع وجود كمية قليلة من الهيدروجين كوقود لتفاعلات الاندماج يصبح هناك ضغط أقل للخارج مقارنة بالضغط الجذبى للداخل، ويختل بالتالى اتزان النجم، ومع تعاظم ضغط التجاذب للداخل يصبح فى النهاية من القوة بحيث يضغط كل الهيليوم المتكون حديثاً، ومن ثم تندمج ذراته لتكون العنصر الكيميائى التالى فى الوزن الذرى، والذى يصبح بدوره العنصر الأكثر شيوعاً فى النجم، ومن ثم يُقَدِّم الوقود لتفاعلات الاندماج مرة أخرى حتى تزداد ضغوط الجاذبية لدمج الذرات بشكل كافٍ لتكوين العنصر الأثقل فى سلسلة عناصر الجدول الدورى، وهكذا دواليك.

بسبب أن شدة قُوى الجاذبية تعتمد على الكتلة الكلية للنجم (وبالتالى على حجمه ووزنه)، فمن الممكن القيام بحسابات توضح الفرق فى المصير النهائى لنجم صغير وآخر كبير، فإذا ما تم إنتاج كل العناصر بنجم ما، حتى عنصر

الحديد، من خلال التفاعلات الاندماجية المتتالية؛ فستكون هناك حاجة لزيادة مهولة فى الحرارة والضغط اللازمين لاندماج الذرات لخلق العنصر الأثقل من الحديد.. إلا أن النجوم الصغيرة لا يمكنها توليد درجات الحرارة والضغط تلك؛ ولأن الضغوط الجاذبية للداخل بمثل تلك النجوم غير كافيه، فلا يمكن أن تبدأ عمليات اندماج نووى بعد تكون عنصر الحديد فى النجم، ومن ثم يبدأ النجم فى الاحتضار. وجدير بالذكر هنا أن الهيدروجين لا يستنفد كله قبل بدء تكوين الهيليوم، كما أن الهيليوم لا يُستَنفد تماماً قبل الخطوة التالية فى السلسلة، وبالتالى سيحتوى النجم على كل العناصر الأخف من الحديد قبل أن يدخل فى الاحتضار. أما تلك العناصر المتبقية من التفاعلات الاندماجية فستُلقى فى الفضاء عندما يبرد النجم لتخلف من ورائها قلباً حديدياً ساخناً مشعاً لفترة ــ يُعرف "بالقزم الأبيض" ــ قبل أن يبرد نهائياً ليتحول إلى "قزم بنى": مجرد كرة من الحديد البارد لا تشع ضوءاً. وبالطبع، ستبقى بقايا النجم النهائية للأبد فى الفضاء، إلا إذا سحبتها الجاذبية، أو أية قوى كونية أخرى، للاصطدام مع أجسام أخرى فى الكون.

أما فى حالة النجوم الكبيرة، فيكون الضغط الجذبى بها قوياً جداً لدرجة يمكن معها سحق القلب الحديدى لينفجر داخلياً، لكن ليس بما يكفى لبدء عمليات اندماجية لتكوين عناصر أثقل من الحديد. وعملية الضغط الجذبى هذه تنتج طاقة مهولة، فيموت النجم بانفجار مروع فى الفضاء، لدرجة أنه خلال وقت قصير ينتج ضغطاً وحرارة كافيين لخلق كل العناصر الثقيلة. وقد رصدت

التلسكوبات الفلكية بالفعل "المستعرات العظيمة" (الســوبرنوفا)[١٧] المروعــة والتى تنتج سحابة عظيمة من الغاز الساخن المشع، تحتوى على كل العناصر والجسيمات الأولية، تنفجر فى الفضاء ناشرة كل العناصــر لمــدى بعيــد، (وبالمصادفة، نعلم ــ الآن ــ أن انفجارات المستعرات العظيمة نفسها يمكن أن يتخلف عنها نجوم نيوترونية كثيفة، أو نجوم وامضة، التى هى نوع مــن النجوم الجديدة الغريبة التى تُشِع موجات راديوية على فترات زمنية منتظمة، الأمر الذى أكد على وجود مستويات غير عادية للنشاط النووى فى حــرارة المستعر العظيم، والمسئولة عن خلق العناصر الأثقل).

فى الحقيقة، تم تأكيد ما توقعه هويل وآخرون بالرصد. وتمكــن العلمـــــاء، باستخدام خطوط الطيف للضوء المنكسر، التى اكتشفها فون فراونهوفر، من تحليل ضوء المستعرات العظيمة والكشف عن العناصر الكيميائية التى كانت بها، وتماماً ــ كما توقع هويل وكل المنظــرين أصــحاب نظريــة الحالــة المستقرة ــ كانت كل العناصر الثقيلة موجودة. إلــى جانــب فــك أســرار المستعرات العظيمة، رصدت التلسكوبات، المزودة بمناشير زجاجية لكســر الضوء، نجومًا لها بصمات فى الضوء لكل العناصر الكيميائية حتى الحديد، وشاهدوا ــ أحياناً ــ مستويات الضوء تتلاشى قبل أن تختفى. والأكثر مــن ذلك، أنه مع زيادة فهم رياضيات الفيزياء النووية أمكــن بوضــوح توقــع

(١٧) اكتسبت هذه النجوم اسمها عندما شاهد "تيخو براهى" إحداها لأول مرة فى السماء ــ التى كان عليمًا بنجومها ــ فأطلق عليها لفظ Nova ومعناه : جديد، ومــن ثــم ســميت النجوم الأكبر Supernova. (المترجم).

التفاعلات الاندماجية، وعلى هذا لم يعد هناك شك فى صحة تفسير هويل لدورة حياة النجوم.

للوهلة الأولى، أعطى هذا العمل الجبار دعماً لنظرية الحالة المستقرة؛ إذ شرح كيف يمكن أن توجد النجوم، وكيف يمكن أن تعطى للكون العناصر كلها. وبدا الأمر كتكوين صورة ذات معنى، على الأقل بالنسبة للماديين الذين أرادوا طريقاً لكينونة كل الأشياء بدون الحاجة للحظة خلق أو لذرة لوميتر البدائية. وعند هذا الحد يمكننا تصور كون لا نهائى مستقر له نظام ديناميكى داخلى يمكننا من تفسير الإزاحة الحمراء التى رآها هابل. لكن بالرغم من عبقرية شرح تكون المواد فى النجوم، حملت نظرية الحالة المستقرة بذور هدمها، إذ لم يُقدَّر لها أن تعارض فكرة الإنفجار العظيم، الذى اقترحته أفكار لوميتر عن الخلق، لوقت طويل.

الفصل الخامس

بقايا الانفجار والنقاط الشاذة العجيبة والتفاوتات الضئيلة

ما من شك أن الشرح الذى قُدِّم عن دورة حياة النجوم كـان إنجـازاً عقليـاً هائلاً، الأمر الذى أكسب أصحاب فكرة "الحالة المستقرة"، "هويل" وزملاءه، مزيداً من الاهتمام، ولقد قدمت هذه المجموعة من العلماء، لفترة، البديل الجاد لنظرية الانفجار العظيم. وبالتأكيد كان هويل عالماً محترماً، حتى إن "ستيفين هوكينج" كان يطمح أن يُشرف على رسالته للدكتوراه "بكيمبريـدج"، إلا أن الذى أشرف عليها "دينيسْ شاما"، أحد مؤيدى نظرية الحالة المستقرة، والذى تحول فيما بعد لتأييد أفكار "لوميتر" عن أصل الكون.. ويبدو أن هويل حتى يومنا هذا يُفضل نظرية الحالة المستقرة على نظرية الانفجار العظيم.

الانفجار العظيم فى فجر الزمن

أغرت بعض الأمور تدريجياً أناساً مثل دينيس شاما لتغيير وجهات نظرهـم، وربما جاءت أول إشارة لدحض نظرية الحالة المستقرة من شروح مؤيـديها أنفسهم، التى تصف كيفية طبخ العناصر فى النجوم. كان مـا تـم اقتراحـه بالفعل أن كل العناصر تكونت من الهيدروجين فى دورة حياة النجوم، إلا أن ذلك أثار مشكلة: من أين جاء الهيدروجين، الذى صنع النجوم، أصلاً؟ إذ إنه يحتاج، وفقاً لنظرية الجسيمات تحت الذرية، لانفجـار حرارى هائل ليتكون

من الجسيمات تحت الذرية، وكان أحد الاحتمالات أن الهيدروجين سيتكون بطريقة ما فى الحرارة الهائلة التى انطلقت من ذرة لوميتر البدائية (وهو المبدأ الذى أراد منظرو الحالة المستقرة القضاء عليه)، وفى برنامج إذاعى فى أواخر الأربعينيات، أماط هويل اللثام عن هذه المسألة، وأكد أن ثمة طريقًا آخر للتفسير؛ إذ تهكم قائلاً: "لو أن الكون قد بدأ بانفجار عظيم ساخن، فإن مثل هذا الانفجار سيتخلف عنه آثار، فأرونى إذن حفرية تبقت من الانفجار العظيم!".

لقد التصق الاسم الذى أطلقه هويل فى شجبه الساخر للنظرية، وأدى تحديه هذا إلى قيام مؤيدى نظرية الانفجار العظيم باكتشاف أدلة عظيمة لتأييدها، وبدلاً من أن يستأصل كلام هويل فكرة الانفجار العظيم، عمِل على المدى الطويل للترويج لها، وفى الحقيقة، وعقب إعلان هويل وزملائه من كيمبريدج، "هيرمانْ بوندى" و"توماسْ جولد"، فروضهم عن نظرية الحالة المستقرة عام ١٩٤٨، قام فريق آخر من الفيزيائيين بإعداد القضية المقابلة، وكان عام ١٩٤٨ بالنسبة لهويلْ المسكين عامًا لا يُنسى.

التداخل الكونى

انشغل "جورجْ جاموفْ" وتلميذه "رالفْ ألفر" عام ١٩٤٨ بقضية ضرورة وجود حفرية للانفجار العظيم تدل عليه، إن كان قد حدث بالفعل. وقاموا بحسابات مُفادها أن الانفجار العظيم قد أنتج كمية خرافية من الحرارة لخلق ذرة الهيدروجين، التى كونت النجوم الأولى، وفى الواقع، فقد تكون بعض

الهيليوم أيضاً. وقد أدت توقعاتهما أن تكون نسبة الهيدروجين هي ٨٠٪ والهيليوم٢٠٪، وهذه بالضبط النسبة التي تم تسجيلها من بصمات فراونهوفرْ المميزة في الضوء القادم من المجرات القديمة. كما ذهبا إلى القول بأن لهيب الحرارة الشديد الذى خلق هذين العنصرين لم يختف كلية، حتى بعد مُضى هذه المليارات من السنين.

كما أشارا إلى أنه طالما أن الكون قد تمدد في كل الاتجاهات منذ الانفجار العظيم، فستكون هناك ــ دائمًا ــ قدرة على كشف تلك الخلفية الإشعاعية الخافتة في أى اتجاه نحاول رصدها فيه، وبالطبع فليس ثمة حرارة كافية قد بقيت، إلا أن الحسابات تنبأت بدرجات أعلى قليلاً من الصفر المطلق، وهو أقل درجة حرارة ممكنة ويساوى ٢٧٣ْم تحت الصفر، ومع ذلك يظل من الممكن الكشف عنها؛ وستمثل تلك الحرارة الضئيلة بالتالى الإشعاع الوحيد المنتشر في أى اتجاه نُوَلِّى إليه كاشفاً حساسًا بما فيه الكفاية ليلتقطه. وبالنسبة لأى إشعاعٍ آخرٍ تَوَلَّد بعد الانفجار العظيم سيكون له نقطة بداية محددة داخل الكون، ومن ثم سيكون قادماً من تلك النقطة فقط، أما الإشعاع الناشئ من انفجار بدأ به الكون فلن يكون من المستطاع تتبعه لمثل تلك النقطة الوحيدة؛ إذ سيكون منتشراً بكل مكان بواسطة التمدد الديناميكى العام لمثل هذا الكون.

كان "جاموف" خفيف الظل، فأضاف اسم فيزيائى ثالث، ربما حتى دون علمه، وهو "هانزْ بيتى"، إلى البحث حتى يمكن كتابة أسماء المؤلفين على نحو: "ألفرْ، بيتى، جاموفْ" لتلعب نغمة الحروف اليونانية الثلاثة الأولى: "ألفا، بيتا، جاما"، وكان جاموفْ يعرف بيتى جيداً بحيث ما كان للأخير أن

يأخذ هذه الدعابة على محمل خطأ، ولكنه أبدًا لم يستطع توقع النكتة الأكبر التى تلت ذلك؛ إذ تحولت الأحداث بشكل ما كان باستطاعة مؤلف نكات أن يقولها بشكل أفضل. (راجع الصورة رقم ١٤).

فقد حدث فى الستينيات أن انخرط فريق عمل بجامعة "برينستونْ" فى محاولة للعثور على الخلفية الإشعاعية التى تنبأ بها بحث جاموفْ: أى حفرية الانفجار الذى كان هويلْ متأكداً من عدم إمكان العثور عليها. لقد قام الفريق بعمله بنظام وأناة أثناء التجهيز لتجربتهم، فكان لزاماً عليهم معايرة أجهزتهم بدقة كافية كى تستطيع تمييز الإشعاع الضعيف الذى كانوا بصدد البحث عنه، دون الاختلاط بالإشعاعات الأخرى فى الكون، ولكى يقوموا بهذا تعين عليهم استخدام ما يُعرف باسم "المصدر البارد"، أى مصدر له درجة حرارة معلومة وتتم بواسطته مقارنة درجة حرارة الإشعاع الذى كانوا يحاولون الكشف عنه.

كان "روبرتْ دِيكْ" وفريقه واثقين من إتمام الإعداد للاختبار، وكانوا يناقشون، أثناء تناولهم لساندوتشات الغداء، ما يمكن أن يحاولوه فى الخطوة التالية. عندها دق جرس التليفون، وقام دِيكْ للرد، كانت المخابرة من باحثَيْن بمعامل شركة "بِلْ" القابعة فى نهاية الشارع الذى تقع فيه جامعة برينستونْ. كان الباحثان يحاولان تنظيف أحد أجهزة الاستقبال لديهم، كجزء من الإعداد لبدء استقبال الإذاعة المُرسلة عن طريق أحد الأقمار الصناعية، وبدا أنهما قد وقعا فى مشكلة صغيرة؛ إذ بعد أن قاما بتنظيف كل شيء بدقة ـــ حتى إنهما أزالا فضلات الحمام من موضع لبعض أعشاش الطيور التى سبق أن

صنعتها لنفسها داخل جهاز الاستقبال العملاق ذى الشكل القرنى، الذى كانوا يستخدمونه ـ لم يستطيعا التخلص من مستوى تداخل ثابت. وكانا ـ أيضاً ـ قد أضافا مصدراً بارداً للكاشف الخاص بهما، ليجعلا درجة حرارة التداخل الكلى ثابتة، وكانا على علم بشهرة ديكْ وفريقه وأنهم أكثر الناس دراية بإشعاع الفضاء فى ذلك الوقت، وعليه قاما بالاتصال بهم ليريا ما إذا كان لديهم فكرة ما لتفسير ما يحدث.

لقد قام "أرنوْ بنزياسْ" و"روبرتْ ويلسونْ"، المهندسان الباحثان بمعامل "بِلْ"، بعمل ثرى وجيد لتدوين خصائص ذلك التداخل المزعج.. وهدأت الحوارات بين زملاء دِيكْ عندما بدأوا فى تبين ما يُقال على الناحية الأخرى من المحادثة التليفونية الجارية. حقاً لقد جرت محاولتهما باستخدام مصدر بارد، وحقاً بدا أن الحرارة ـ دائمًا ـ عند ٣ ° كيلفين، أى ٣ درجات فقط فوق الصفر المطلق، وحقاً كانت من كل الاتجاهات بالسماء.. وأحنى دِيكْ رأسه، وكذلك فعل باقى الفريق. وعندما وضع دِيكْ السماعة قال: "حسناً يا رفاق، لقد سبقنا آخرون".. لقد هُزِم فريق العمل الذى كان يطمع فى الحصول على جائزة نوبل من خلال هذا الاكتشاف، وفاز بها شخصان مؤهلان أكاديميًا يعملان باحثين فى شركة تليفونات، وقفا كحجر عثرة فى سبيل فريق العمل الأكاديمى القابع جوارهم: لقد وجد أرنوْ بنزياسْ وروبرتْ ويلسونْ حفرية هويل المتبقية من الانفجار العظيم، وفازا فى النهاية بجائزة نوبل. (راجع الصورة رقم ١٥).

سقوط نحو ثقب

أيًا من كان مكتشف الخلفية الإشعاعية، فقد أصبح الاكتشاف دليلاً علمياً جيداً على صحة نظرية الانفجار العظيم، وتزامن هذا مع عمل ستيفين هوكينج فى رسالته للدكتوراه، فألهمه ذلك أن يحاول التركيز فى رسالته على نظرية الانفجار العظيم والنظرية النسبية العامة لأينشتاين. ولعلك تذكر أن أينشتاين، فى ضوء لقائه مع هابل ولوميتر، قد أقرَّ بأن "الثابت الكونى" كان أكبر تخبط له فى حياته، وبالتالى ترك معادلاته تتنبأ بتمدد بطيء للكون، وكان ذلك من المصادفات الجيدة التى قدمت إجابة على إحدى مشاكل نموذج نيوتن للكون اللانهائى المستقر، وهى: كيف يمكن للجاذبية أن تحكم ديناميكية الكون، ومع ذلك يبقى الكون غير متجاذب ككل ولا يتحول إلى كتلة ممتزجة؟ والآن وجدنا الجواب، الذى تمثل فى وجود قُوى التمدد التى كشفتها أرصاد هابل وتنبأت بها رياضيات أينشتاين[١٨]، والتى ستضاد السحب الجذبى فى الاتجاه المعاكس.

أقنع هذا العديد من المنظرين بوجوب اتباع تنبؤات رياضيات أينشتاين فى النسبية لفحص إمكانية الوصول لنتائج أخرى خاصة بالكون. ولأن ستيفين هوكينج أراد أن يستمر فى العمل فى هذه المساحة من المفاهيم ليتخذها موضوعاً رئيسياً فى رسالته للدكتوراه، ذهب دينيسْ شاما، الذى كان مُشرفاً

(١٨) يعتبر مصطلح "رياضيات أينشتاين" غير دقيق بما فيه الكفاية، لأن الرياضيات التى استخدمها أينشتاين، أى هندسة الفراغ المنحنى، كانت موجودة بالفعل، وطورها من قبله رياضيون إيطاليون أمثال "ليفىْ شيفيتا" وآخرون. (المراجع).

عليه، ليتعرف على العمل الذى يقوم به عالم رياضيات آخر من جامعة "أكسفورد"، يُدعى "روجرْ بنروز"، على نظريات أينشتاين؛ الذى كان يعمل أيضا على تنبؤ آخر باستخدام نفس الرياضيات التى استخدمها أينشتاين، وهو أن الجاذبية ستجعل كميات مهولة من المادة تنهار للداخل نحو حيز صغير ذى كثافة عالية، أطلق عليها اسم "المُفردة"(١٩)، وكان العلماء على استعداد لتقبل هذا تحت شروط محددة تجعل للعمل النظرى قيمة ومعنى، وإن لم تنطبق هذه الشروط وحدث الانهيار، فسينتهى الأمر بأن تكون قوانين الفيزياء، التى توقعت الانهيار أصلاً، بلا معنى. من ثم، للحفاظ على بقاء قوانين الفيزياء كما هى، أمل العلماء أن يجدوا مخرجاً رياضياً يمكن به توقع شيء بديل للانهيار الجذبى. لكن عِوَضًا عن ذلك، هاهو روجر بنروز يجد البرهان الرياضى لحتمية الانهيار!

لقد بدا الأمر مضحكًا ومنافيًا للحقيقة لمعظم الناس؛ إذ كان من الصعب على العلماء تصور ذلك كأحد الحقائق الأصيلة، ومع ذلك فقد كانت المفردة تعنى الكثير، رياضياً ونظرياً، كما سنرى لاحقًا. لقد كان بنروز فى الواقع يصف ثُقبًا أسود تُسحب إليه المادة لتنضغط إلى مفردة فى الفرَاغ.

---

(١٩) "المفردة" Singularity: مصطلح تم إطلاقه على تلك النقط الشاذة التى تنهار فيها المادة على نفسها، ونصفها بالشذوذ لأن قوانين الفيزياء التى نعرفها لا تتحقق عندها، وتصبح قيَم بعض الكميات الفيزيائية المحدودة غير محدودة، كما تصبح كثافة المادة عند هذه النقطَة الشاذة عالية جدًا وليس لها مثيل فى أى من النُظُم الفلكية المعروفة. (المراجع).

ألهم ذلك ــ أيضًا ــ ستيفين هوكينج؛ إذ مع عكس اتجاه الــزمن، والعــودة بالحدث الذى يصفه بنروز للوراء فى الزمن، أدرك ستيفين أن لديه نموذجًــا كاملاً للانفجار العظيم.. إنها تلك النقطة الشاذة. فأشار إلى أنها تُقابل "الــذرة البدائية"، التى اقترحها لوميتر فى رياضيات أينشتاين من قبل، وسوف تنفجر هذه الذرة للخارج فى صورة انفجار عظيم بديناميكية مُعاكسة لتكون الثقــب الأسود، بحيث تتبعثر المادة كلما تطور النظام الكونى بالنسبة للزمن، ونشــر ستيفينْ وروجرْ بنروزْ بحثاً عام ١٩٧٠ قدما فيه الدليل الرياضى على أنه إذا كانت رياضيات أينشتاين صحيحة فلا بد من وجود مفردة كنتيجــة لوجــود الثقوب السوداء، كما أنه لابد من وجود مُفردة عند بداية الكون. وقد جلــب هذا كارثة على الفيزياء: إذ كيف تستطيع الفيزياء تفسير وشرح كل شىء فى الطبيعة إذا لم تنطبق قوانينها على لحظة ميلاد الكــون؟ وفى المقابل، بالنسبة للعديد من الفيزيائيين، كان ذلك كافيًا للموافقة على قبول الدليل على أن الكون قد بدأ بانفجار عظيم.. على كُلٍ، أشار البحث إلى أن الكون يجب أن يكون قد بدأ بانفجار عظيم منطلقاً من مفردة طالما كانــت النسبيــــة، التــى قــدمها أينشتاين، صحيحة. (راجع الشكل رقم ١٦).

وكما يبدو فإن كل الدلائل والأرصاد تؤكد صحتها، ومعادلات النسبية العامة لا تسمح بشىء بديل. وقد منحت الكنيسة الكاثوليكية ميــداليتها الأكاديميــة البابوية لستيفين هوكينج معترفة بعمله، ومبتهجة بكونه بدا كمن قدم الــدليل العلمى على دعم تلك البداية للكون، التى سبق أن عرضها أحــد رهبانهــا. ولربما كانت هذه إشارة عامة إلى أن الصدع بين الكنيسة والعلم قد بدأ يلتئم،

بالرغم من أن الفاتيكان ربما تعرض للإحراج عند اكتشافه أن جاليليو كان أحد أبطال العلم بالنسبة لستيفين هوكينج!

تفاوتات ضئيلة فى الكون

قدَّم ستيفين هوكينج، بعمله على المفردة، دليلاً نظرياً على الانفجار الكبير. ثم جاء أحدث دليل تجريبى على صحة نظرية الانفجار العظيم، الذى يقول البعض عنه إنه الإثبات الحاسِم، من القمر الصناعى المسمى "كوبى" COBE[٢٠] (الحروف الأولى للكلمات الإنجليزية: كاشف الخلفية الإشعاعية الكونية)؛ إذ بعد أن اكتشف بنزياس وويلسون خلفية الإشعاع من الانفجار العظيم عام ١٩٦٥، أشار هويل وآخرون إلى أنه حال تَساوِى درجة الحرارة وانتظامها فى الكون بأسره، فإن ذلك لن يسمح بتكون المجرات وتطورها منها، وبالتالى فلا بد من البحث عن تفسير آخر. وإن لم تأت المجرات من الانفجار العظيم، فإن ذلك سيترك الباب مفتوحاً لإعادة الحياة لنظرية "الحالة المستقرة"[٢١]. وقد أخذ الحماس بعض مؤيدى نظرية الانفجار العظيم ليحملوا عبء التحدى من أجل التوصل للكشف عن التفاوتات البسيطة فى درجة حرارة الخلفية الإشعاعية (أى التفاوتات البسيطة فى الحرارة والتى تسمح بتكوين المجرات)، التى بدونها لن يكون هناك سبب لأى تغير فى الطريقة

---

(٢٠) القمر الصناعى "كوبى" : COsmic Background Explorer (COBE). (المترجم).

(٢١) هناك نظرية تقضى بأن أحد أسباب تكون المجرات فى الكون يرجع للاختلاف فى درجة الحرارة من مكان لآخر بحيث تتجمع المادة فى المناطق الأكثر سخونة مكونة اللَّبِنات الأولى للمجرات على اختلاف أنواعها. (المراجع).

التى تطور بها الكون، الذى سيصبح ساعتها وكأن كل شىء فيه قد جاء للوجود من حِساء ساخن متجانس من الطاقة، وبالتالى عند ظهور الجسيمات تحت الذرية فى نهاية المطاف فإنها ستكون منتشرة بالتساوى، ولن يكون هناك مناطق أكثر أو أقل فى كثافتها عن مناطق أخرى: بمعنى أن المادة ستوجد فى توزيع متساوٍ، ليس به أى اختلافات. إلا أن الكون كما نعرفه لم يتطور على هذا النحو، فالمادة تجمعت لتكوِّن المجرات، وبينها فراغات واسعة، وفى المراحل الأولى من تطور الكون سيُمكِن للفروق الضئيلة فى درجة الحرارة أن تفسر كيف حدث هذا، بحيث تكون المناطق الأكثر سخونة ذات طاقة أعلى من المناطق الأكثر برودة، وبالتالى من الممكن أن تتشأ جسيمات أكثر فى المناطق الأكثر سخونة، وسيسمح هذا للجاذبية بسحب هذه التجمعات الكثيفة من الجسيمات مع بعضها لتكون كُتَلاً أشد كثافة وأكثر ارتباطاً، تقوم فى النهاية بسحب الجسيمات المخلقة فى المناطق الأبرد عن طريق جاذبيتها، وعندما تفرغ المناطق الأبرد من الجسيمات فإنها ستتطور مكونة الفراغات بين المجرات، أما المناطق الأكثر سخونة فإنها ستتطور مكونة أولى المجرات البدائية.

لقد أراد "جورجْ سْمُوتْ"، الفيزيائى بجامعة "كاليفورنيا" "بِبرْكْلِى"، ومعه مجموعة عمل كبيرة من علماء الكون التجريبيين، أن يثبتوا صحة نظرية الانفجار العظيم وأن يجدوا سبيلاً للكشف عن التفاوتات الضرورية فى درجة حرارة الخلفية الإشعاعية، التى سمحت بتكون المجرات. وكانوا على يقين بأن الكاشف الذى استخدمه بنزياس وويلسون فى الأصل، لم يكن قادرًا

على تمييز تلك التفاوتات الضئيلة، ومن ثم تعين عليهم تطوير أجهزة رصد أكثر حساسية ودِقة، كما تعين عليهم إزالة أى تشويش من أى مصادر مُحتملة للإشعاع، كالغلاف الجوى للأرض، الذى يمكنه حجب الاختلافات الصغيرة فى درجات حرارة الخلفية الإشعاعية.

واتتهم فى البداية فكرة إطلاق منطاد عملاق، بمثل ضخامة ملعب لكرة القدم، مملوء بغاز الهيليوم، كى يرفع الأجهزة المعقدة الكبيرة الثقيلة، التى كانت فى مثل حجم سيارة صغيرة، إلى حافة الغلاف الجوى للأرض. وقد كان المنطاد رقيقاً مثل كيس بلاستيك، ومن ثم كان سيصبح فريسة لتغيرات اتجاه الريح، وبالتالى لن يكون لدى الفريق أية وسيلة لمعرفة موضع الرصد النهائى على وجه التحديد.

وكان من الممكن ضبط الكاشف ـــ بالتحكم فيه عن بُعد ـــ لجمع المعلومات المطلوبة، ولكن عند استعادة الجهاز للأرض عن طريق إشعال شحنة مفرقعات لإسقاط الأجهزة، فإن مظلة، يتم التحكم فى نشرها عن بُعد، ستتحكم فى الهبوط، ومع ذلك فإن ضمانات سقوط الأجهزة بأمان وفى مكان ملائم لم تكن كافية، وبالطبع فإن أى تلف بالأجهزة القيمة سيكون مُكلِّفاً للغاية.

بسبب ذلك قاموا بمحاولة أخرى يمكن التحكم فيها أكثر ـــ تمثلت فى استخدام طائرة من نوع "يو ٢"[٢٢]. واستخدموا غطاءً خاصاً لحفظ الكاشف الحساس الموضوع على السطح الخارجى للطائرة؛ إذ كان زجاج شباك الطائرة سيمنع

---

(٢٢) طائرة نقل عسكرية. (المراجع).

أخذ قراءات دقيقة ـــ وفى نهاية الأمر اكتشفوا أن الوقت والحركة المتاحة للطائرة لأخذ قراءات لكل مساحة من السماء كانا محدودين، كما أن الطائرة لا يمكنها البقاء ساكنة بمكان واحد كالمنطاد؛ ورغم أن الطائرة قادرة على تنفيذ طلعات طيران متكررة للبقعة نفسها، إلا أنها غير قادرة على أخذ قراءات كافية قبل نفاد الوقود. وقد كان الخيار الأكثر واقعية، الذى كان واضحاً لهم منذ البداية، استخدام قمر صناعى؛ إذ إنه يعمل خارج الغلاف الجوى تماماً، ويمكن التحكم فيه عن بُعد بواسطة أهداب لمحركات صغيرة لإبقائه بالضبط كما يريدونه فى مداره بموضع تتزامن فيه حركته مع حركة الأرض، كما أنه سيضمن لهم ثبات المنطاد كمنصة ثابتة لإجراء الرصد منه، ولكن فى ظروف تشغيل أفضل.

كان فريق العمل يعرف أن حجز مكان لتجربتهم فى إدارة أبحاث الفضاء القومية (الأمريكية) ـــ ناسا NASA[٢٣] أمر صعب ـــ ولكنهم أعدوا مشروعهم بعناية، ولحسن حظهم حصلوا ـــ أخيرًا ـــ على فرصة لإطلاق قمر صناعى خاص بتجربتهم إلى الفضاء. إلا أنه بسبب عمليات بناء القمر الصناعى واختبار كل التجهيزات عليه وأنظمة التحكم فيه عن بُعد، تأخروا كثيراً. كما أن مشاكل بجدول أعمال "ناسا"، راجعة لكارثة تحطم مكوك الفضاء "تشالنجر"، ساهمت أيضًا فى تأخر موعد الإطلاق. لكن بمجرد أن تجاوزت ناسا مأساتها حصل الفريق على اللحظة المناسبة عام ١٩٨٩، وتم

(٢٣) "ناسا" : National Aeronautics and Space Administration (NASA). (المترجم).

إطلاق "كوبى" على متن صاروخ، وبدأ على الفور فى بث أنقى الإشـــارات التى كانوا فى انتظارها، وأصبح من الممكن فـــى القريب العاجل تأكيد مـــا رصده بنزياس وويلسون لخلفية الإشعاع الكونى، إلا أن الأمر تطلب عامين آخرين للتأكد من إزالة كل مصادر التشويش المحتملة أثناء محاولـــة إنتـــاج صورة مفصلة بالكمبيوتر باستخدام أرصاد "كوبى".

فى أوائل عام ١٩٩٢، وجد جورجْ سموتْ نفسه أمام شىء أثار انتباهه، فقد أنتج الكمبيوتر صورة للكون من بيانات "كوبى" كشفت عن تفاوتات طفيفة فى درجة الحرارة، لقد كان متأكداً تماماً مما رآه، إلا أنه ــ كى يقطـــع الشـــك باليقين ــ طلب من أحد معاونيه أن يحلل بيانات "كوبى" بشكل مستقل، مشيراً فقط إلى أنه يعتقد بأن ثمة شيئًا مُبشِّرًا بها، وفى صبيحة اليوم التـــالى وجـــد سموت صـــورة كمبيوتر أخرى قد تم دفعها من تحت بـــاب مكتبـــه وبهـــا التفاصيل نفسها التى كانت بالصورة التى أنتجها بنفسه، وعليهـــا قصاصـــة مكتوب عليها عبارة "وجدتُها!"[٢٤].

اختار سموت أن يعطى اللونين القرمزى والأزرق لصورة الكمبيـــوتر كـــى يميز المناطق الأكثر حرارة والأكثر برودة ــ على الترتيب ــ فـــى أجـــزاء الصورة، وبسرعة أصبحت الصورة مشهورة على مستوى العـــالم بعـــد أن تناقلتها وكالات الأنباء والصحف. وقد أُعيد بعناية تمحيص واختبار نتائج هذه الفروق الطفيفة فى درجات حرارة الخلفية الإشعاعية، التـــى كشـــف عنهـــا

(٢٤) عبارة "وجدتها" : Eureka باللغة الإغريقية هى التى أطلقهـــا أرشـــميدس عنـــدما اكتشف قانون الطفو. (المترجم).

"كوبى"، وتم الاعتراف وقتها بمضمون رسالة "كوبى"، وبات واضحاً أن ثمة تفاوتات طفيفة فى الخلفية الإشعاعية الناشئة عن الانفجار العظيم تسمح بتكون المجرات وتطورها إلى ما نراه اليوم، وبذلك تم توثيق نظرية الانفجار العظيم بشكل كبير. (راجع الصورة رقم ١٧).

لقد مضت ستون سنة فقط منذ انطلقت فكرة لوميتر المُلهَمة عام ١٩٢٧ عن ذرة بدائية، ووصولاً لأعمال ستيفين هوكينج على النسبية وتوثيق "كوبى" للانفجار العظيم. وهذا ليس بالوقت الطويل إذا قورن ببقاء نموذج بطلميوس عن الكون، كوصف مقبول تماماً، مدة خمسة عشر قرناً كاملة؛ أو إذا قورن بنموذج نيوتن عن كون لانهائى مستقر، والذى بقى لمائتى عام تقريبًا. ورغم اكتساب نظرية الانفجار العظيم لقبول كبير خلال فترة قليلة نسبياً، إلا أنها مازالت إلى اليوم غير مقبولة عند الجميع؛ إذ من الصعوبة بمكان أن نعتقد بأن التنويعات الكبيرة لكوكبنا — جباله ومحيطاته، حياته النباتية والحيوانية، بمَنْ فيها نحن البشر — قد نمت من "مفردة"، أى من شىء هائل الكثافة، وفى الوقت نفسه أصغر من الذرة! وحتى إن لم تكن هذه الكمية الهائلة المعقدة من المادة سوى قطرة فى محيط؛ فإن تلك المفردة، إذا كانت نظرية الانفجار العظيم صحيحة، يجب أن تكون قد أنتجت — أيضًا — كل المادة المكونة للكواكب الدائرة حول الشمس، التى هى بدورها مجرد نجم من مليارات النجوم فى مجرتنا، التى تعتبر مجرد مجرة واحدة من مليارات المجرات تكونت جميعها من "مفردة"، وتتسابق جميعها مبتعدة عن بعضها بسرعات هائلة كلما تمدد الكون، الذى بدأ تمدده منذ أكثر من خمسة عشر مليار سنة!

رغم أن هذه الصورة عن الكون تُعتبر حتمية، إذا استخدمنا حسابات هابل عن الإزاحة الحمراء لنرجع فى الزمان لنقطة البداية التى كانت عندها المجرات فى مكان واحد، إلا أنها أيضًا صورة مبهرة وضعتها أمامنا إنجازات الفيزياء فى هذا القرن، وقد أصبح من الصعوبة بمكان الجدل ضد هذه الصورة عندما تتتابع الأدلة المتواترة مؤيدة لصحتها. فإلى جوار أرصاد هابل، هناك النظرية النسبية العامة، وأعمال ستيفين هوكينج اللاحقة، وجميعها يعطى دعماً نظرياً كبيراً لنظرية الانفجار العظيم، وبالتالى، فإن ما قام برصده بنزياس وويلسون، وأخيراً جورج سموت، يعنى أن باستطاعتنا التيقُن من فهمنا لديناميكية

الكون على المستوى الكبير، مهما بدا ذلك غير مناسب. وبينما أظهرت لنا فيزياء النُّظُم الكبيرة عجائبها، فإن فيزياء النُّظُم الصغيرة تطورت بسرعة أيضًا، وهذا الفرع من الفيزياء ساعدنا فى فهم المزيد عن طبيعة المواد، ليخبرنا عن احتمال نشوء مادة الكون كلها من لا شىء على الإطلاق!

الفصل السادس

إنها قضية ذرات

كل الأشياء كبيرها وصغيرها

بالضبط كما تفكر الإغريق القدامى فى طبيعة الكون، تفكروا أيضًا فى طبيعة كل شيء حولهم، وبطريقة عفوية أدت أفكارهم إلى تأسيس فرعٍ من فـروع الفيزياء تطور بالتوازى مع علم الكون وعلم الفلك ــ دون أن يرتبط علـى الدوام بأى منهما ــ وبحلول القرن العشرين تطورت أفكارنا عن الكون مـن رياضيات فيثاغورث وإيراتوستينيس إلى رياضيات أينشتاين، لتقدم جميعهـا صيغاً ومعادلات حاولت تعريف العلاقات المتعددة بين الأشـياء الضـخمة كالشمس والنجوم والكواكب. كما اهتمت فيزياء أينشـتاين بشـكل رئيسـى بطبيعة الزمان والمكان والجاذبية، إلا أنها لم تهتم بالطريقة التـى تتـراص وتنتظم بها الذرات الصغيرة للمواد. لذلك، فالفيزياء التى تمت دراستها فـى نظريات النسبية لأينشتاين، يُشار إليها ــ عادة ــ بفيزياء النُّظُم الكبيـرة. إلا أننا مازلنا بحاجة لدراسة عالم الـنُّظُم الصـغيرة ــ وهـو مجـال فيزيـاء الجُسيمات الأولية و"نظرية الكم"، كما تُسمى فى أيامنا هذه. وفيزياء الـنُّظُم الصغيرة ــ على أية حال ــ لم تتطور بطريقة تطور أختها الكبرى نفسـها، أى فيزياء النظم الكبيرة.

لقد تطورت فيزياء النظم الكبيرة بالطريقة العلمية الكلاسيكية؛ حيث تم التحقق من صِحة الأفكار النظرية عن طبيعة الكون، أو نفيها، من خلال الأرصاد الدقيقة أو التجارب العلمية، تلك الأرصاد والتجارب التى قادت بدورها لأفكار أخرى، كُتبت لها الحياة، أو الموت، عندما تم اختبار صحتها من خلال الأرصاد والتجارب. ومرة أخرى نقول: لقد بدت رؤية بطلميوس عن الكون مُقنِعة حتى جعلتها أرصاد جاليليو مستحيلة تماماً، تاركةً الطريق مفتوحاً لنظريات نيوتن عن الحركة، التى اقترحت تصورًا آخر للكون، ثم جاءت أفكار دوبللر واكتشافات فون فراونهوفر عن طبيعة الضوء، وتم اختبار كل منها وتأكيده، لتسمح بعد ذلك لأرصاد هابل باقتراح تصور آخر عن كون بدأ من نقطة واحدة صغيرة للغاية. وأوضحت رياضيات أينشتاين كيف أن تطور مثل هذا الكون كان متوافقاً مع قوانين الفيزياء التى تحكم الزمان والفراغ؛ إلا أنها لم تشرح كيف تطورت المادة فى الكون (أى كل المجرات بمليارات النجوم فيها، والتى منها شمسنا وكواكبها) من بداية أولية فريدة، هى ذرة لوميتر.

أما فكرة تكوُّن كل شىء من وحدات بناء أولية، فلها قصة طويلة.. لقد اعتقد الإغريق القدامى، كغيرهم من قبلهم، أن كل أنواع المادة التى نعرفها تتكون من أربعة أشياء، ومن ثم اقترحوا إمكانية تفاعل التراب والنار والهواء والماء ــ دائمًا ــ بطريقة ما لإنتاج كل شىء آخر؛ إذ كان من الواضح أن كلاً منها له قوة خاصة، فالماء يمكنه إذابة الأشياء، والنار يمكنها تسخينها وصهرها، والهواء يمكنه نشر النار وتجفيف الماء، والتربة كانت هى المادة الصلبة التى

يمكن لقُوى تلك المواد أن تعمل عليها لإنتاج مواد جديدة. (راجع الرسم رقم ١٨).

لقد كان الإغريق القدامى متأكدين أيضًا أن المادة يمكن أن تنقسم ويُعاد تجزيء مكوناتها حتى أصغر قطع أولية لا يمكن تجزيئها، وقد سُميت تلك القطع الصغرى "بالذرات": من اللفظ الإغريقى atomos، الذى يعنى "الشيء غير قابل للتقطيع أو التجزيء". ولهذا، ففى الوقت الذى حاول فيه فيثاغورث إعطاء شرح رياضى متناغم عن العلاقة بين الأرض والنجوم، كانت هناك قناعة متنامية بأن كل المواد على الأرض ترتبط معاً بالطريقة المتناغمة نفسها وبأسلوب أولى يسهُل وصفه.

أمشعوذون أم علماء؟

لم يبدأ البحث عن التركيب الأساسى للمادة بهدف فكرى واضح، ولكنه بدأ بنوع من الرغبة فى معرفة إمكانية تحويل نوع من المواد إلى نوع آخر، وكانت أولى التجارب، التى تهدف لذلك، غير علمية؛ إذ قام بها "السيماويون"، الذين كانت أفكارهم تدين للخرافة والمعتقدات التقليدية أكثر مما تدين للعلم. والسيماوى ببساطة كان يحاول إنتاج معادن نفيسة، كالذهب، من معادن رخيصة، عن طريق المحاولة والخطأ، وافترض التجريبيون منهم بشكل أساسى أن قوة النار، مع "التعويذة المناسبة"، ستُحقق ذلك! بحيث يصبح كل ما يلزم فعله أن يستمروا فى خلط وتسخين الأشياء المختلفة فى ظروف

مناسبة للحصول فى النهاية ــ غن طريق المصادفة ــ على النتيجة التى كانوا يحلمون بها.

لقد تمت إذابة أشياء مقززة، كالبول والروث، بالماء، وتَبَخَّر من مثل تلك المخاليط غازات، وتم صهر وخلط المعادن، أو فصلها عن بعضها فى حالتها السائلة.. إلا أن أيًّا منها لم يُعط للسيماويين ذلك التحول السحرى الذى كانوا يبحثون عنه ويفكرون فيه. ومع الوقت، تحول أولئك إلى التنجيم والتصوف فى محاولة لاكتشاف أسرار التحول، وأثناء عملهم هذا انتهوا إلى ترسيخ فكرتهم الأساسية عن النار ــ التى شاهدوها كطاقة تأتى من الشمس والنجوم ــ على أنها مفتاح تخليق مادة من أخرى بطريقة ما. وفى الواقع قامت الكنيسة، التى أصبحت مركز التعليم لكل شىء فى ذلك الزمن، بالحكم عليهم كمشعوذين وأمرت بحبسهم أو حرق مؤلفات ممارسيها وكتاباتهم.

سيكون من الغريب أن نذكر الآن إلى أى مدى اقترب السيماويون ــ كما سنرى لاحقاً ــ من التعريف العلمى لأصول المواد ولمصدر تنوعها اللانهائى عبر الكون، كما أن أولئك اعتقدوا فى وجود صلة ما بين طاقة الشمس والنجوم. ورغم حكم الكنيسة عليهم، أعطت السيمياءُ العِلمَ العديد من الأدوات القيمة التى استخدمت فى البحث عن طبيعة المادة.

القُوى الأولية

انشغل الكيميائيون الأوائل بتقنيات السيماويين، كالفصل والإذابة والتبخير وصهر المواد المختلفة، أثناء بحثهم عن طُرُق لفصل ما قد يستطيعون العثور

عليه من كيماويات، فأدركوا بسرعة أن أشياء عديدة تتركب من عنصر كيماوى أو أكثر، يمكنهم فصله والتعرف عليه بأساليب تشبه تلك التى استخدمها السيماويون. ثم خطوا خطوة أخرى للأمام؛ إذ شرعوا فى تعريف كيماويات لا يمكن أن تنقسم، وبدت تلك الكيماويات أولية؛ لذلك تم تسميتها بالعناصر(٢٥) وافترضوا على الفور أنها أساس كل المواد.

لم يستطع الكيميائيون الأوائل بالطبع تخيل أن علوم القرن العشرين ستقدم شرحاً وافيا لكيفية تخليق كل المادة من مصدر واحد عقب الانفجار العظيم، وبالتالى لم يكن لديهم سبب للاهتمام بوجود علاقة ظاهرية بين العناصر التى اكتشفوها، أو للاهتمام بطريقة تحويل عنصر ما لآخر. إلا أنه قد بات واضحا لهم، فى ظل اكتشافهم ما يربو على ستين عنصراً كيماوياً مختلفاً، أن النظرية القديمة، التى تعتبر الهواء والنار والماء والتراب كأساس لكل شىء، نظرية خاطئة، أما فكرة أن يكون ستون عنصراً ـ واضحة الانفصال ـ يمكن أن تتكون بدورها من ذرات أولية، فمن المحتم أنها بدت وقتها فكرة بعيدةً غير مقبولة.

ظلت فكرة الذرات الأولية، التى لا تتجزأ، غير قابلة للتحدى حتى تلك الفترة(٢٦). والذى كان مقبولاً فقط أن أصغر قِطع ممكنة من كل عنصر أوَّلى ستُكَوِّن ذرات ذلك العنصر. وبالنسبة للكيميائيين الأوائل، بدا كشف العلاقات

---

(٢٥) اللفظ الإنجليزى لها: Element، ومنه: Elementary، الذى يعنى: أولى أو بدائى. (المترجم).

(٢٦) نهاية القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر. (المراجع).

المثيرة بين تلك العناصر أكثر أهمية من كشف طبيعة الذرة ذاتها، وبالتالى ركزت بحوثهم الكيميائية وقتها على إيجاد طرق لوصف وتمييز ذرة عنصر ما عن عنصر آخر. وقد لاحظ الكيميائيون أن كيماويات عديدة تتصرف بطريقة متشابهة فى حالات معينة؛ فالأحماض تذيب المعادن، وبعض الغازات تحترق بسهولة، بينما يُطفئ بعض منها لهب شمعة مضاءة، وكان من الطبيعى أن تنشأ محاولات لتصنيف المواد الكيميائية فى مجموعات، وبالتالى تصنيف العناصر، بطرق تعتمد على الخصائص المشتركة بينها، وكان هذا بمثابة نوع من التحدى المثير للكيميائيين فى ذلك الوقت، إلا أن هذا التصنيف ــ فى البداية ــ لم يكن له أى علاقة بالعمل الذى كان يجرى آنذاك لمعرفة حجم ووزن وكتلة ذرة كل من العناصر المعروفة.

كان حساب تلك التفاصيل عملاً فذاً بكل المقاييس؛ إذ لم يكن ثمة وسيلة لفصل ووزن وقياس خواص الذرات المنفردة؛ والذى كان متاحاً فقط فى ذلك الوقت وزن كميات من الكيماويات وقياسها قبل خلطها معًا فى تفاعل كيماوى، ثم قياس حجم الكيماويات الجديدة الناتجة من التفاعل ووزنها، وبهذه الطريقة تأسست بعض الأفكار عن الوزن والحجم النسبى لكيماويات مختلفة: إذ إن كميات كبيرة من بعض الأشياء يمكن أن يكون وزنها خفيفاً، وفى المقابل فإن كميات صغيرة من البعض الآخر يكون وزنها أثقل بكثير، فأدركوا بسرعة أن كمية محددة من المادة تحتاج لكمية محددة، ومحدودة، من الحرارة كى ترتفع درجة حرارتها بمقدار محدد، فى حين تحتاج مادة أخرى لكمية مختلفة من الحرارة لترتفع درجة حرارتها بالقدر نفسه. وتم بالتالى

إعطاء رقم لكل عنصر يعبر عن ما أسموه "بالحرارة النوعية" لهذا العنصر أو ذاك. واستطاع الكيميائيون من خلال تلك المجموعة الموثوق بها من الأرقام، التى تعبر عن الحرارة النوعية للعناصر المختلفة، أن يضيفوا رقماً آخر يُعبر عن الوزن الذرى لكل منها. وإذ لم يكن من الممكن آنذاك إعطاء أرقام دقيقة بأجزاء من المليمتر والمليجرام لوصف ذرات كل عنصر، فيمكن على الأقل إعطاء قيمة رمزية لعنصر ما، ثم وصف العناصر الأخرى بالنسبة له، وقد تم اختيار عنصر الأكسجين فى البداية لهذا الغرض؛ ثم عنصر الكربون فيما بعد. وكل ما كان يهم وقتها أن مجموعة من الأرقام قد ظهرت مُعَبِّرة عن الكتلة أو الوزن الذرى لكل عنصر.

مع ذلك، عندما بدا أن تلك القيم عشوائية ولا تحمل أية علاقة ظاهرية بين الخواص المتشابهة أو المختلفة للعناصر الستين المعروفة، تم إهمالها، بالضبط كالعناصر التى تم اكتشافها. وقد قَبِل الكيميائيون أنه على الرغم من أن العديد من العناصر قد ثبت وجودها ــ أيًّا ما كانت أوزانها الذرية ــ فإن ذلك لم يُظهر أية علاقة بين أى عنصر والذى يليه؛ وساد اعتقاد بأن التشابه الكيميائى لا علاقة له بالأوزان الذرية، حتى جاء "ديميترىْ مِندِلِيفْ" ليُثبت شيئاً آخر.

خلط أوراق اللعب

أظهر مندليف ــ بالتأكيد ــ شغفاً بالكيمياء منذ طفولته؛ إذ كانت والدته تملك مصنعاً تقليدياً للزجاج فى "سيبريا" يستخدم العديد من الكيماويات لتلوين

الزجاج المصهور فى الأفران، ومن الجائز أن مراقبة مندليف لعملية الوزن الدقيق لكميات محددة من الكيماويات للحصول على اختلافات رقيقة فى الألوان قادته فى النهاية للاعتقاد بأن الوزن الذرى للعناصر المختلفة ربما كان أكثر أهمية مما كان يُظَن من قبل، إلا أن هذه الرواية ربما كانت محض خيال.

الشيء المؤكد أن مصنع الزجاج احترق، فدفع ذلك والدة مندليف إلى أن تقرر أن الوقت قد حان لوضع مستقبل ابنها فوق كل اعتبار، فقاما برحلة طويلة من سيبريا إلى مدينة "القديس بطرس ـ ليننجراد" عام ١٨٤٨ كى يلتحق ديميترى بالجامعة هناك، ويُقال إن الرحلة التى امتدت لمسافة ٢٢٥٠ كيلومتراً استغرقت عامين لإتمامها، وبمجرد وصولهما ماتت الأم، لكن إرادتها كانت قد حددت بالفعل مستقبل ابنها. واكتسب مندليف قُوْتَه بالعمل فى المشروعات الحكومية، كما كان يفعل معظم الدارسين، وتصادف أن أُوكل إليه عمل يقوم فيه بتصنيف بعضٍ من المنتجات البترولية المختلفة، ولم تتبق سوى قفزة فكرية واحدة ليتمكن مندليف من تخيل أن كل أشكال الكيماويات قابلة للتقسيم بطريقة ما، وعلى وجه الخصوص كل العناصر.

تتلخص القصة فى أنه ذات ليلة أراد إكمال تقرير كان يكتبه عن الموضوع الذى أوكل إليه، لكنه لم يستطع معرفة كيفية إنهائه، فتوجه إلى الفراش محبطاً دون إتمام موضوعه، وجاءته الإجابة فى حلم! لماذا لا نحاول تصنيف العناصر بناءً على أوزانها الذرية؟ وأحس فجأة أن هذا سيكون مدخلاً أفضل من تصنيفها بناءً على خصائص تفاعلاتها؛ لذا قام بإحضار

رزمة من أوراق اللعب، التى يبدو أنه كان مولعًا بها، ثم شرع يكتب رمز كل عنصر من العناصر المعروفة ووزنه الذرى على أوراق اللعب، وشرع يحاول معرفة الترتيب الذى يمكنه أن يصنفها به.

كانت أهمية رؤيته الثاقبة ــ سواء جاءته فى حلمه أو أثناء ترتيبه لأوراق اللعب على الطاولة ــ أن الأوزان الذرية للعناصر، التى تبدو ظاهرياً غير مترابطة، يمكن تحويلها إلى متوالية ذات معنى إذا افترض فرضان: أولهما وجود فراغات يمكن أن تملأها عناصر لم يتم اكتشافها بعد، وثانيهما أن واحدًا أو اثنين من الأوزان الذرية المعروفة يمكن ضبطه قليلاً ليتناسب مع عملية الترتيب، (كان هذا بسبب عدم دقة القياسات فى تلك الأيام، وبالتالى لن يبدو هذا فرضًا غير مبرر كما يمكنَ أن يظهر الآن)، وعقب ترتيب أوراق اللعب وتحريكها مرات عديدة، وصل مندليف إلى أول صيغة صحيحة "للجدول الدورى": أى تصنيف العناصر الكيماوية فى مجموعات تتضمن تصاعدًا فى الأوزان الذرية لكل عنصر.

لم يعرف مندليف ــ بالضبط ــ لماذا يجب أن توجد مثل هذه العلاقة بين العناصر، إلا أن اكتشاف عناصر جديدة قد برهن على صحة عمله، وقد احتلت هذه العناصر مكانها بالفعل فى الفراغات التى ترك أماكن لها بجدوله، ونحن نعرف ــ اليوم ــ أن تصاعد الأوزان الذرية للعناصر يُعزى لزيادة فى عدد الجسيمات تحت الذرية عندما تتطور من عنصر ما للذى يليه، ويعتمد الاختلاف بين العناصر على عدد الجسيمات اللازمة لبناء ذرة كل عنصر. لم يكن من المستطاع الوصول لتلك المرحلة من الفهم دون بصيرة

ديميترى مندليف، الذى وضعنا فى الاتجاه الصحيح لفهم طبيعة المادة، وكيف يرتبط عنصر كيماوى بآخر. وإذا كنا سنحاول فهم تطور كل الموجودات منذ لحظة البداية للانفجار العظيم، فيجب أن يكون ثمة طريق تطورت فيه كل العناصر وكل المادة ــ على مراحل ــ من نقطة بداية مشتركة.

الضوء الأزرق الدافئ

ذاع عن مندليف قوله قُبيل وفاته: "إذا أردنا تعلم المزيد عن طبيعة المادة، فيجب علينا دراسة عنصر "اليورانيوم"[٢٧] عن كثب". وقد كانت نصيحته، إن كان قالها حقًا، نبوءة بلا جدال، فمع نهاية القرن التاسع عشر، وعلى الأخص فى "فرنسا"، بدأت مسألة انقسام الذرة تخضع للدراسة بسبب عنصر اليورانيوم، فقد اكتشف "هنرى بيكوريل"، وآخرون، أن اليورانيوم يُطلِق إشعاعات من نوع ما، واعتزم الرجل التعرف على ماهية تلك الإشعاعات. كخطوة أولى، أراد أن يتحقق إن كان ذلك الإشعاع نوعًا من الطاقة، كما كان يُعتقَد، أم لا؟ وتحكى إحدى الروايات أنه اقتنع ــ مبدئيًا ــ أن ضوء الشمس يمكنه إثارة هذه الطاقة لتنطلق من اليورانيوم، ومن ثم يمكن تسجيلها على الألواح الفوتوغرافية، حيث كان التصوير قد اختُرِع حديثاً؛ لذا قام بلف لوح فوتوغرافى ــ لم يسبق تعرضه للضوء ــ فى ورقة سوداء سميكة، ثم وضع بعض بللورات اليورانيوم على اللفافة. ولأن الجو كان غائماً قرر تأجيل التجربة ليوم آخر، وعلى ذلك قام بوضع كل شىء فى مجفف، ليعزل تجربته

---

(٢٧) عنصر ثقيل مشع. (المترجم).

عن رطوبة الجو، وانتظر ليوم مشمس ليعيد الكرة، وحين أراد أخذ اليورانيوم واللوح الفوتوغرافى، اندهش عندما رأى ما قد تم بالفعل.

بغريزته، أكثر من أى شيء آخر، قام بإزالة اللفافة واستظهار اللوح الفوتوغرافى فى غرفة مظلمة.. لقد كوفئ على بديهته؛ إذ ظهرت بُقع معتمة تنطبق تماماً مع المكان الذى كانت بللورات اليورانيوم موضوعة فيه على اللوح الفوتوغرافى، تماماً كما لو كان اللوح تعرض للضوء فقط فى ذلك المكان. وبالطبع فاللوح لم يتعرض مطلقًا للضوء، وبالتالى كان هذا ــ بلا شك ــ علامة تركها شيء ما انبعث من البللورات وله القدرة على اختراق اللفافة الورقية السوداء ليصل إلى اللوح، بخلاف الضوء الذى ليست لديه القدرة على اختراق اللفافة السوداء. (راجع الصورة رقم ١٩).

كان "ميشيلْ فاراداىْ" قد اكتشف، قبل ذلك بستين عاماً، إمكان توليد الكهرباء، وفى زمن بيكوريل بدأ العلماء فى قياس كل أنواع الطاقة والقوى بوحدات شدة التيار الكهربائى[٢٨]؛ لذا قررت "مارى" و"بيير كورى"[٢٩] فى باريس القيام بتجربة لقياس شدة الإشعاع، الذى اكتشف بيكوريل انبعاثه من اليورانيوم، وكان معروفاً لهما أن هذا الإشعاع المنبعث من اليورانيوم يعمل على توصيل التيار الكهربائى عبر مساره فى الهواء. لذا، قاما بشحن عينة من اليورانيوم بالكهرباء ووضعاها على سطح مستوٍ ليختبرا وصول شحنتها لسطح آخر موضوع أعلاه. وكان من المعروف أن العناصر الأخرى،

---

(٢٨) وحدة "الأمبير"، نسبة للعالِم الذى يحمل نفس الاسم. (المترجم).
(٢٩) زوج السيدة "مارى". (المترجم).

كالذهب والنحاس، لا تمرر أية شحنة للأسطح التى قد توضع أعلاها، لكن اليورانيوم فعل ذلك بحيث بات واضحًا أنه مصدر انبعاث الطاقة التى تجعل الهواء موصلاً للكهرباء.

كى يمكنهما قياس شدة الطاقة المنبعثة، قاما بالتحضير لتجربة متكررة لمعرفة ما إذا كانت شدة الإشعاع ثابتة دائماً، بصرف النظر عن كمية اليورانيوم التى يستخدمانها، وبصرف النظر عن قيمة شحنة السطح السفلى، أم لا. ولم يكن ثمة طريق مباشر لقياس شدة الإشعاع، لكنهما عرفا من عمل فاراداى إمكانية استخدام التيار الكهربائى لحَرْف، أو لف، سِلْكٍ أثناء تعرضه لذلك التيار، وبالتالى قاما بتوصيل السطح العلوى بسلك.. وبكل تأكيد، انحرف السلك بسبب التيار المحمول إليه من اليورانيوم الموضوع على السطح السفلى.

ثم قاما بتوليد تيار الكهربائى يمكنهما التحكم فى شدته بدقة، ودفعا به إلى السلك المنحرف فى الاتجاه المعاكس لإرجاعه لوضع البداية، وعن طريق قياس كمية التيار اللازمة لذلك أمكنهما معرفة مقدار الطاقة اللازمة للاتزان، والتى تقابل الطاقة المنبعثة من اليورانيوم، ومن ثم أمكنهما حساب قوة الانبعاث.

تميز آل كورى بدقة أدائهم لتجاربهم المتكررة، لدرجة مكنتهم من الحصول على نتائج متوافقة، حتى للكميات الضئيلة من الطاقة المنبعثة من اليورانيوم.

عقب ذلك، اكتشفا شيئاً آخر غير عادى، لقد كان مصدر اليورانيوم الذى استخدموه فى التجربة خام "البيتشبليند"(٣٠) بدون تنقية، على مظنة توفير الوقت، وكانت توقعاتهما أن يحصلا على تيار أضعف بسبب وجود الشوائب، لكن لدهشتهما، كان التيار الذى حصلا عليه أقوى بكثير عنه فى حالة استخدام اليورانيوم النقى، وكان التفسير الوحيد الممكن لذلك أن يكون الخام محتويًا على عنصر جديد بالإضافة لليورانيوم، بحيث تكون له طاقة انبعاث أعلى من التى تصدر من اليورانيوم، وتمثل التحدى أمامهما فى كيفية فصل هذا العنصر من "البيتشبليند".

عمل آل كورى بشدة على فصل مكونات خام "البيتشبليند" إلى عناصره، مستخدمين كل الأساليب التقليدية للكيمياء، من تسخين وإذابة .. إلخ، ومع كل مرحلة كانا يأخذان المادة الناتجة ويحرقانها ثم يدرسان الضوء الناتج من اللهب بحثاً عن خطوط فراونهوفر، التى يمكن أن توجد فى الطيف الضوئى، وكلما وجدا بصمة جديدة أرجعاها إلى وجود عنصر جديد، وفى النهاية عثُرا بالفعل على عنصرين مشعين جديدين، خلاف اليورانيوم، وأطلقا على الأول اسم "بولونيوم" نسبة إلى "بولندا" مسقط رأس السيدة كورى، وأَسْمَيَا الآخر "راديوم"(٣١).

لقد علق العنصر الأخير بالذاكرة أكثر من العنصر الأول نظرًا لأهميته الأكيدة من الناحية الكيميائية؛ وبمجرد أن حسب آل كورى وزنه الذرى، تبين

---

(٣٠) خام أسود لامع موجود فى الطبيعة. (المراجع).

(٣١) من لفظ: Radiation، الذى يعنى: الإشعاع. (المترجم).

أنه يأخذ مكانه فى أحد الفراغات التى تركها مندليف للعناصر التى لم تُكتشف بعد فى جدوله الدورى، وفوق ذلك كان ثمة شىء آخر ألهب خيال العامــة.. لقد أشعلت الطاقة المنبعثة من الراديوم حماس أقل العقول تعلمًا، حيث قام آل كورى بفصل كميات صغيرة نقية للغاية من الراديوم كانت تتوهج بالمعمــل ليلاً، وافترضا على الفور أن ذلك الضوء الأزرق الدافئ الجميل شىء إيجابى لطيف يمكنه منح الطاقة للاستشفاء وإضفاء الجمال على الديكور، حتى لقــد ذاع عن راقصة "بفولييه بيرجيريه"[٣٢] أنها طلبت من آل كورى عمــل زِى لها مغطى بالراديوم لترقص به فى الظلام! ولم يتم التعــرف وقتهــا علــى التأثيرات الضارة للراديوم المُشِع، كما عُرف عن بيير كورى فيما بعد أنــه عانى من حروق فى يديه بسبب تداوله للخام؛ كذلك تُعزى وفاة كل من مارى وبيير، بشكل أساسى، إلى تعرضهما للراديوم المُشِع. على أية حــال، فــإن الحقيقة التى لا مراء فيها أن طاقة لا يمكن إغفالها تخرج من ذرات الراديوم، طاقة تنتج ضوءًا وحرارة كافية لإبهار أى شخص، وليس فقط العلماء كمــا رأينا. وتمثل التحدى التالى فى معرفة ما يحدث داخل الذرة، ويتحرر عنــه كل تلك الطاقة، ومن ثم تفسيره.

بالرغم من عدم اهتمام البعض بشكل مباشر بدراسة طبيعــة المــواد، إلا أن علماء الكونيات قد شُغِلوا بمحاولة العثور على إجابة وتفسير لمسألة تحــرر الطاقة المنبعثة من العناصر المشعة. فالصورة السائدة ما تزال لنموذج نيوتن عن كون لا نهائى مستقر، وبالنسبة للعلماء الماديين، الذين رفضوا فكرة خلق

---

(٣٢) ملهى ليلى فى باريس. (المراجع).

الرب للكون، كان القيام بشرح كيفية تطور كل العناصر المعروفة فى هذا الكون بطريقة طبيعية أمراً هاما له بالغ الأثر فى مواجهة فروض المتدينين المؤمنين بالخلق؛ الذين يعتقدون أن التنويعات المعقدة من كل شيء بالكون إنما نتجت بحكمة الرب حتى صار الكون إلى ما نعرفه عنه ونعيش فيه. وفى زمن آل كورى، أصبح لدى الماديين المعارضين لفكرة الخلق بعض المفاتيح الحقيقية لشرح كيفية تطور المادة؛ إذ بات واضحا أن ذرات العناصر المختلفة موجودة ببساطة كوحدات بناء أساسية لكل شيء، واقترح الجدول الدورى للعناصر لمندليف وجود علاقة بين ذرات كل عنصر يمكننا التنبؤ بها ومعرفتها. إلا أن كيفية ظهور تلك العناصر للوجود، وسبب ظهورها، لم يكن من الممكن معرفته حتى ذلك الوقت.

لقد أدى اكتشاف انبعاث الطاقة من ذرات بعض العناصر إلى اقتراح إمكانية وجود طُرُق جديدة لفهم طبيعة المواد، فهل توجد حقاً أشياء أصغر من الذرة الأولية؟ وإذا كان الأمر كذلك، هل سيساعد ذلك العلماء كى يقوموا بشرح كيفية تطور التنويعات فى الكون بطريقة طبيعية، وليس بالضرورة عن طريق الخلق المباشر لها؟ لقد حان وقت الفيزياء تحت الذرية. ولقد استغرق الأمر بضعة عقود، منذ بداية القرن العشرين، لدحض الاعتقاد الذى ظل باقيًا لأكثر من ألفى عام. فقد تم إثبات أن الذرة التى لا تنقسم، يمكن أن تنقسم بالفعل.

الفصل السابع

الطاقة التى نشأ عنها كل شىء

تشابه غير مريح مع السيمياء

قرر العالِم التجريبى الفذ "إيرنستْ رذرفوردْ"، النيوزيلندى الأصل وصديق آل كورى، أن يخطو بتجاربهما على الراديوم خطوة للأمام، مستخدمًا فى ذلك طريقة عبقرية لتحليل الإشعاع الصادر من الراديوم، وغيره من العناصر المُشعة. كان آل كورى قد أوضحا أن الهواء يصبح موصلاً للتيار الكهربائى إذا امتزج بإشعاع الراديوم؛ لذا أراد رذرفورد أن يحاول الكشف عما إذا كان الإشعاع سيلاً نقياً بسيطاً من الطاقة اختلط بالراديوم فى صورة بخار؛ أم أنه عنصر كيماوى جديد يحمل جسيمات الطاقة؛ إذ كان يشك فى وجود عنصر كيماوى آخر ينطلق فى صورة غاز إلى جانب الطاقة التى قام بقياسها آل كورى.

كى يختبر صِحة فرضيته، قام بتصميم وعاءين متصلين عبر صمام يمكن التحكم فى فتحه وغلقه، وعندما كان هذا الصمام فى وضع غلق قام بملء أحد الوعاءين بإشعاع الراديوم. وأثناء ذلك قام بقياس الشحنة الكهربائية للغاز، الذى كان يدعه يدخل للوعاء، بدقة وبالطريقة نفسها التى استخدمها آل كورى، وعندما وصلت الشحنة فى الوعاء للقيمة نفسها التى قاسها آل كورى

من قبل، عرف أن الوعاء قد امتلأ بالإشعاع، وعندئذ فتح الصمام وقام بقياس الشحنة فى الوعاء الآخر، وقام بحساب الزمن اللازم لوصول الشحنة فى الوعاء الثانى لقيمتها نفسها بالوعاء الأول، وعندما وصل لهذا الحد، ظن أن الإشعاع الذى كان بالوعاء الأول قد انتشر بالتساوى فى الوعاءين. لقد كان من المهم معرفة المدة التى يأخذها الانتشار؛ إذ كان معلوماً أن زمن انتشار الغازات يتناسب طردياً مع أوزانها الذرية، لذا توقع رذرفورد أن يحصل على نتيجة محددة إذا كان الراديوم قد انتشر فى صورته البخارية.

لكن الانتشار كان يستغرق أوقاتاً مختلفة تماماً عند إعادة التجربة، ودلّ هذا بوضوح على أن الإشعاع له وزن ذرى أدنى بكثير من الوزن الذرى للراديوم، وبعبارة أخرى، اكتشف رذرفورد عنصراً أخف من الراديوم يظهر للوجود فى وقت خروج الطاقة الإشعاعية من الراديوم. وللدقة، يجب أن نوضح أن رذرفورد استخدم عنصر "الثوريوم"، الذى ينتج غاز "الرادون" فى معظم تجاربه: أى أنه حصل على نتيجة صحيحة ولكن بتعليل خاطئ، لقد كانت الأرقام التى حسبها للوزن الذرى منخفضة جدًا، كما أنها – بكل تأكيد – مختلفة تمامًا عن الوزن الذرى للراديوم، وقد أظهر ذلك أن عنصراً جديداً قد تكوَّن بالفعل، ولم يكن بالطبع مجرد بخار للراديوم. وكما يحدث – دائمًا – عندما يتحسن فهمنا للمادة وطبيعتها، فإن ما أسسته تجارب رذرفورد تمثل فى حدوث عملية تغير طبيعى لحظياً: إذ بلا شك كان هناك عنصر كيميائى يتحول لآخر.. وهذا بالضبط ما بحث عنه السيماويون، ويُقال إن مساعده "فريدريكْ سودىْ" صاح قائلا: "يا إلهى، لقد اكتشفنا التحول يا رذرفورد".

فزع رذرفورد من فكرة أن ما قام به يمت بصلة، ولو من بعيـد، للسـيمياء غير الموثوق بها، فرفض التشجيع، الذى جعل عمله يحمل سمة التحول، كأن ذلك كان سيلقى بظلال الشك على الدقة العلمية لأعماله. وللحقيقـة، إن مـا اكتشفه كان هو عين التحول؛ إذ أنتجت تجاربه، فى بعض الحـالات علـى الأقل، عنصرًا من عنصر آخر مع انطلاق طاقة أثناء عملية التحول. وربما لم يحقق عمله هذا حلم السيماويين فى الحصول على الذهب مـن المعـادن الرخيصة، لكنه كان عملاً إيجابيًا بلا شك، عملٌ لم يجعل فقط عملية التحول ممكنة، بل لقد حدثت فى الطبيعة بالفعل.

لأن اهتمامنا منصب على علم الكونيات، إذن لو كانت عملية التحول يمكـن أن تنطبق على كل العناصر، وإن كان كل شيء قد بدأ من الانفجار العظيم، فيمكن ــ نظريًا على الأقل ــ أن يتحولِ ذلك الشيء الموجـود فـى ذلـك الوقت، كائنًا ما كان، إلى كل شيء آخر فى الكون خطـوة بخطـوة! إلا أن مسألة تطبيق ما اكتشفه رذرفورد، بالنسبة للعناصر المشـعة، علـى بـاقى العناصر لم يكن فى دائرة اهتمامه وقتها؛ إذ تمثل التحدى التالى بالنسبة لـه فى معرفة ما يجرى داخل الذرة ليسمح بعملية التحول تلك.

تشريح الذرة

شهدت بدايات القرن العشرين العديد من الأعمال لبحث تركيب الذرة، كما تم التعرف على العديد من مكوناتها، ومثال ذلك "الإلكتـرون" الـذى اكتشـفه الفيزيائى البريطانى "ج.ج.طومسون". وإلى الوقت الذى قام فيه طومسـون

بتجاربه، كانت الكهرباء معروفة بأنها تدفق للطاقة، التى يمكنها المرور فى أسلاك بعض المعادن، ويمكن إنتاجها إما بطرق كيميائية (كما فى بطاريات السيارات التى مازلنا نستخدمها إلى اليوم)، أو بطرق فيزيائية (عن طريق تحريك سلك فى مجال مغناطيسى)، وكما كان معروفاً وقتها، فإنه من الممكن جعل التيار يمر فى أى من اتجاهَى السلك.

تشبه الأسلاك، التى تمر فيها الكهرباء فى اتجاهين مختلفين، قطبى مغناطيس، يتجاذبان إن كانت الكهرباء تمر فى اتجاهين مختلفين، ويتنافران إن كانت تمر فى الاتجاه نفسه، من ثم كانت فكرة الشحنة الكهربائية الموجبة والسالبة، التى يمكن تمثيلها بمرور التيار فى اتجاهين متعاكسين، معروفة تماماً. إلا أن أحداً لم يذهب لأبعد من ذلك فى محاولة معرفة "ما تحتويه" الكهرباء.

اكتشف ج.ج.طومسون أن الكهرباء مكونة أساساً من جسيمات يمكن الكشف عنها عند مرورها من طرف أنبوب زجاجى، مُركَّب بطريقة خاصة، إلى الطرف الآخر، ويُعرف هذا الأنبوب باسم "أنبوب أشعة المهبط"، الذى يجب أن يكون مفرغاً من الهواء، لكنه فى الواقع يحتوى على قليل من الغاز، ويتم تثبيت شريحتين من المعدن بطرفى الأنبوب من الداخل بحيث يمكن شحنهما بالكهرباء، إحداهما سالبة والأخرى موجبة، ومن ثم يسمح هذا للكهرباء أن تمر من طرف للطرف الآخر دون الحاجة لوجود سلك بينهما. على ذلك أمكن لطومسون كشف الشىء الذى "فى" الكهرباء دون الحاجة لوجود سلك بين طرفى الأنبوب، أى دون السلك المعدنى الذى يحجب حقيقتها. وبسبب

وجود القليل من الغاز داخل الأنبوب، ولأسباب أخرى لم تكن معلومة وقتها، توهج ضوء داخل الأنبوب، وحاول العديد من العلماء قبل ج.ج.طومسون تفسير ما حدث، إلا أنه كان أول من أثبت أن الضوء المتوهج لم يكن سوى سيل من الجسيمات، أطلق عليه اسم "الإلكترونات"، ولم تكن تلك الجسيمات "تضيء" أثناء رحلتها داخل الأنبوب، لكن تفاعلها مع جزيئات الغاز فى الفراغ داخل الأنبوب كان السبب فى التوهج المثير. (راجع الصورة رقم ٢٠).

كما اكتشف طومسون أن سيل الإلكترونات المتوهج يتأثر بالمغناطيس بطريقة أدرك بها أن للإلكترونات شحنة سالبة، كما أمكنه، من مراقبة مقدار الانحراف الذى يسببه لها المغناطيس، معرفة أن وزنها أقل من أخف الذرات المعروفة، أى أخف من الهيدروجين، وبالتالى: هل يعنى ذلك أن الإلكترونات تمثل شيئًا أوَّليًا أصغر من الذرة نفسها؟ وإذا كان الأمر كذلك، فهل يمكن العثور على شيء آخر له وزن مناسب وخصائص فيزيائية أخرى بحيث يُكَوِّن مع الإلكترون أجزاء بنائية للذرة؟ وبدأت محاولات العلماء فى كل مكان للتعرف على نوع التركيب الذى تتضمنه الذرة. كانت إحدى الأفكار تقضى بأن الإلكترونات يمكن أن تتجمع حول نواة مشحونة بشحنة موجبة بكل ذرة، وبالتالى يجذب كل منهما الآخر لتبقى الذرة متماسكة.

نقح "رذرفورد" تلك الفكرة؛ إذ تضمنت بعض أعماله، ذات الصلة بالفكرة سالفة الذكر، بيان أن الطاقة الإشعاعية من المواد المشعة تأخذ ثلاث صور، وفى سلسلة من التجارب التى قام بها، وجد أن بعض الطاقة يمكنها المرور

من خلال حاجز على شكل شريحة رقيقة من معدن ثقيل، والبعض الآخر لا يمكنه المرور. وأيضًا، استطاع حاجز، أكثر سمكًا، إيقاف الإشعاع الذى أمكنه المرور من الحاجز الأقل سمكًا، أما باقى الطاقة فبدا أنها تمر من أى حاجز مهما كان سمكه، وقد عُرفت الأشعة التى انعكست عائدة من الحاجز الرقيق باسم "أشعة ألفا"؛ والتى مرت عبره عُرفت باسم "أشعة بيتا"؛ أما التى اخترقت كل الحواجز فعُرفت باسم "أشعة جاما".

استنتج رذرفورد على الفور خاصتين لجسيمات ألفا: فمن دراسة الطريقة التى انحرفت بها فى مجال مغناطيسى أمكن أولاً معرفة أنها موجبة الشحنة، وأمكن ثانيًا معرفة أن لها كتلة مساوية لذرة الهيليوم. ثم حاول رذرفورد بعد ذلك أن يصدم قطعة رقيقة من الذهب بجسيمات ألفا فى محاولة لدراسة كيفية ارتدادها من عليها، فوضع رقيقة الذهب فى وعاء أسطوانى، وبمحاذاتها فيلم تصوير حساس. وعند قيامه بتحميض الورقة الحساسة واستظهارها اتضحت الاتجاهات التى ارتدت فيها جسيمات ألفا من رقيقة الذهب، وبالتالى أمكن لرذرفورد أن يرصد - ميكروسكوبيًا - تلك الاتجاهات مستدلاً عليها من الومضات الضوئية الخافتة التى كان ينتجها كل جسيم عند ارتداده من على سطح رقيقة الذهب، أما تلك التى يمكنها النفاذ من رقيقة الذهب فسيكون من الممكن تسجيلها على ورقة حساسة.. كم كانت دهشته عندما بدا أن بعض الجسيمات انحرفت بزاوية كبيرة عند اصطدامها برقيقة الذهب، وعَزَا رذرفورد ذلك لاحتمال وجود تنافر بين جسيمات ألفا، الموجبة الشحنة، مع أنوية ذرات الذهب، التى يجب بالتالى أن تكون موجبة الشحنة أيضًا، وكان

هذا يعنى ضمنيًا وجود فراغات بين الإلكترونات والنواة حتى يكون بإمكان النواة إحداث هذا التأثير على جسيمات ألفا.

الجسيمات المُعجَّلة

أخيرًا قام رذرفورد والفيزيائى الدانمركى "نِيلزْ بورْ"، مع آخرين، بوضع نموذج لتركيب ذرات جميع العناصر. إلا أنه لم تكن لديهم تصورات أبعد من ذلك عن طبيعة تلك الجسيمات تحت الذرية. ثم جاء رذرفورد بمحاولة عجيبة؛ إذ قرر ببساطة أن يبنى ماكينة يَشطُر بها الذرة! وعُرِفَت الماكينة باسم "مُعجِّل الجسيمات"؛ إذ إن فكرة عملها اعتمدت على تعجيل الجسيمات لإكسابها سرعات عالية، ومن ثم تقوم بالاصطدام بذرة موضوعة كهدف فى الطرف الآخر للمُعجل فتشطرها.

فى الوقت الذى كانت تقام فيه أولى تجارب معجلات الجسيمات، كان علماء الكونيات مُلِمين بالفعل بأرصاد هابل ونظرية الانفجار العظيم، وبالتالى انصب اهتمامهم على معرفة ما قد يتم كشفه من تراكيب تحت ذرية. على كل، إذا اعتقدنا فى صحة نظرية الانفجار العظيم، المثيرة للجدل، فلابد من وجود طريق ما أمكن من خلاله تخليق كل المادة التى فى الكون من الجسيمات الصغيرة التى كانت موجودة عند بداية الانفجار العظيم. فإذا أظهرت المعجلات معلومات عن الطبيعة الحقيقية للمادة، فينبغى أن يكون من الممكن معرفة كيف تكونت الوحدات البنائية الأولية لها عند الانفجار العظيم. وعلى العكس، إذا اتضح عدم إمكان تخليق مثل تلك الوحدات فى مثل تلك

البداية الانفجارية، فستصبح نظرية الانفجار العظيم غير صحيحة ولا تصلح من ثم للتطبيق إذا أردنا استخدامها لتفسير عملية تكون النظم المختلفة في الكون. وتبلغ معجلات الجسيمات الحديثة من الضخامة بحيث إن أحدها – الكائن في "سيرن" "بسويسرا" – يبلغ طول نفقه الدائري أكثر من ٢٠ كيلومترًا تحت سطح الأرض، ويمتد في الأراضي الفرنسية مارًا أسفل جبل، لكن المفاهيم الفيزيائية التي تُبنى على أساسها تلك المعجلات الضخمة، بالضرورة، هي نفسها التي بَنى على أساسها رذرفورد الأنبوب الزجاجي الذي لم يكن سوى مُعجِّل طوله متران، وجميعها يحتاج أولاً لطريقة تنتج بها الجسيمات؛ ثم لطريقة أخرى لتعجيلها كي تتحرك بسرعات عالية. (راجع الصورة رقم ٢١).

اعتمدت طريقة رذرفورد على خصائص الكهرباء، فقام بإنشاء شيءٍ مشابهٍ للأقطاب الموجبة والسالبة لبطارية ووضع كلاً منها في طرف من طرفي أنبوب زجاجي لإنشاء مجال كهربائي بين القطبين، ورغم صعوبة توضيح ما يحدث، إلا أنه أشبه ما يكون بكُرة تنحدر من أعلى تل إلى أسفله مكتسبةً سرعة أثناء ذلك. وفي معجل الجسيمات يكون التيار الكهربائي، المكون من سيل الإلكترونات عند طرف الأنبوب السالب، مقابلاً للكرة، ويمثل طرف الأنبوب السالب قمة التل، فتتنافر الإلكترونات السالبة مع طرف الأنبوب السالب منجذبة نحو الطرف الموجب، الذي يُمثل أسفل التل، لدرجة أنه حتى مع مسافة أقل من مترين، ستكتسب الإلكترونات عجلة تجعلها تصطدم بقوة كافية مع الهدف عند وصولها للطرف الموجب للأنبوب، والفكرة ببساطة أن

الإلكترونات المُعَجَّلَة ستشطر بعض الذرات من مادة الهدف ــ الذى يكون عادة قرصًا بسيطًا من المعدن ــ عند اصطدامها به. كما ابتكر "رذرفورد" و"هانزْ جَايْجَر" عداداً عُرف باسم (عداد جايجر) بهدف الكشف عن النشاط الإشعاعى، تم استخدامه لإثبات انطلاق طاقة عندما تنشطر الذرة فى المعجلات، وأيضًا للكشف عن نتائج الاصطدام.

وللتأكد من أن عداد جايجر يكشف بالفعل عن نتائج تحطيم الذرات عن طريق الإلكترونات المعجلة، تم تفريغ الأنبوب نهائيًا من الهواء، وبالتالى لم يبق به سوى الهدف الذى سيصدمه سيل الإلكترونات. كانت النتائج واضحة لا لبس فيها: فعندما تنشطر الذرة إلى جسيمات تحت ذرية، تتحرر ــ دائمًا ــ كمية محسوسة، يمكن قياسها، من الطاقة، وأمكن بالتالى جعل ذرات مادة الهدف تنحل صناعيًا بالطريقة نفسها التى تنحل بها طبيعيًا عناصر مشعة كاليورانيوم والراديوم.

أصبحت النتائج واضحة، فالذرات تحوى طاقة تنطلق عند تحطيمها، إلا أن ذلك أثار المزيد من الأسئلة، فما يا تُرى هذا العالم تحت الذرى؟ وهل هناك مكونات أخرى بالإضافة للطاقة الأساسية؟ وما طبيعة ودور الإلكترونات ونواة الذرة، اللتين بدتا مرتبطتين بدقة فى النماذج النظرية الأولى عن الذرة؟ بدأت نتائج المعجلات فى إعطاء إجابات عن تلك الأسئلة، كانت فى الواقع مُبهرة: فإذا كانت الإلكترونات والنواة بالذرة لهما كتلة ترابط نعتبرها كتلة الذرة، فإن الطاقة المتحررة يجب أن تنشأ بشكل ما من تلك الجسيمات ومن

طريقة ارتباطها معًا، وفى حالة التحلل الإشعاعى الطبيعى للراديوم مثلاً، يتكون عنصر جديد له كتلة أقل من الراديوم نفسه، وعلى ذلك، فهل يا تُرى تتحول بعض الجسيمات إلى طاقة أثناء عملية الإشعاع؟

عودة إلى أينشتاين

مع تطور تقنيات تعجيل الجسيمات، أمكن تطوير طرق دقيقة لقياس كمية الطاقة المتحررة من التصادمات فى المعجلات؛ كما أمكن أيضًا قياس الكتلة التى تفقدها مادة الهدف فى التصادم، وأصبح من الممكن تغيير مدى قوة التصادمات؛ إذ بات بالإمكان استخدام ذرات أو جسيمات ذات كتل مختلفة. إلا أن الشىء اللافت للنظر أن مقدار الطاقة المتحررة نتيجة التصادمات كان – دائمًا – متناسبًا طرديًا مع الكتلة المفقودة من مادة الهدف، وهذا يعنى أن الطاقة والكتلة شىء واحد يظهر بطريقتين: مرة كطاقة ومرة ككتلة، بالتالى يجب أن يكون هناك تحلل لبعض الجسيمات تحت الذرية إلى طاقة. لم يكن هذا بالكشف غير المتوقع للعلماء؛ إذ أعلن أينشتاين من قبل وجود علاقة بين الطاقة والكتلة فى نظريته "النسبية الخاصة" من خلال معادلته الشهيرة: ط = ك ع^{2}، حيث أوضح أينشتاين أن هذه المعادلة تُعَد نتيجة حتمية للمعادلات الرياضية التى احتاجتها صياغة النظرية النسبية الخاصة لتفسر كيف يسير الضوء – دائمًا – بسرعة ثابتة. وتنص المعادلة على أن الطاقة (ط) تساوى دائمًا ما يكافئها من الكتلة (ك) مضروبًا فى ثابت، هو مربع سرعة الضوء (ع^{2})، كما تنبأت تلك الرياضيات بأن الكتلة ستزداد، ببطء فى البداية ثم

باطراد سريع بعد ذلك، مثل أى شيء يتحرك بسرعة تقترب شيئًا فشيئًا من سرعة الضوء.

قد تبدو مثل تلك الأفكار لمعظمنا من الصعوبة بحيث لا يمكننا تقبلها؛ إذ لا يوجد فى خبراتنا اليومية شيء يشير لوجود ارتباط بين كتلة الأجسام وسرعة الضوء، كما أن الأجسام لا تتحرك بسرعات تقترب من سرعة الضوء، وبالتالى فنحن فى موقف يصعب علينا فيه اختبار أفكار أينشتاين، التى تبدو بعيدة الاحتمال، ورغم ذلك فإن سيل الإلكترونات، المُستخدم للاصطدام بالأهداف عند أحد أطراف المعجل، يمكنه التحرك بسرعات تقترب من سرعة الضوء أثناء اقترابه من نقطة التصادم، وبالتالى يمكن كشف الزيادة فى كتلة الإلكترونات وقياسها، عند تعجيلها.

مرة أخرى، أكدت نتائج المعجلات صحة نظريات أينشتاين المعاندة للبديهة؛ إذ تم تقديم البرهان على "التبادلية" بين الكتلة والطاقة، فعندما تم تعجيل الإلكترونات اكتسبت طاقة، وبالتالى زادت قيمة (ط) فى معادلة أينشتاين؛ ولأن سرعة الضوء ثابتة، فإن القيمة ($ع^٢$) تصبح ثابتة أيضًا، وعلى ذلك، كى يتساوى طرفا المعادلة، يجب أن تزداد قيمة الكتلة (ك)، وهذا بالضبط ما حدث للإلكترون فى معجل الجسيمات. كان ما يهم علماء الكونيات فى هذا الصدد الاقتراح القائل بأن الطاقة أساس المادة، حيث ثبت بوضوح أن الطاقة تتحرر عندما تتكسر المادة أو تتحلل؛ لكن، هل من الممكن عكس هذه العملية؟ أى هل يمكن تحويل الطاقة إلى جسيمات تحت ذرية، وبالتالى إلى

ذرات؟ وهل يمكن أن يكون الانفجار العظيم قد أنتج طاقة كافية فى لحظتـه الأولى لتتحول بالطريقة العكسية إلى كل المادة التى فى الكون؟

مسارات فى الضباب

أمكن بالفعل معرفة المزيد عن المادة من معجلات الجسيمات، وفى الأجيـال الأولى من المعجلات كان تسجيل الطاقة الناتجة من التصادمات يتم ــ غالبًا ــ باستخدام عداد جايجرْ، ثم تحسنت الطرق بعد ذلك لقـراءة نتـائج هـذه التصادمات. حيث شرع الفيزيائى البريطانى "تشارلزْ ويلسونْ" عـام ١٨٩٥ فى العمل على تطوير أول "غرفة سُحُب"، التى كانت عبارة عـن صـندوق مملوء بغاز مُشَبَّع ببخار الماء، وتتميز بإمكانية إظهـار مسـار أى جسـيم مشحون كهربائيًا عند مروره خلال الغاز المشبع. وبالرغم من أن الجسـيم أصغر بكثير من أن يُرى بالعين المجردة، فإن مساره من الضخامة بحيـث يمكن للعين المجردة رؤيته. يمكن تشبيه ذلك بالذيل الضبابى الـذى تخلفـه طائرة مرتفعة فى السماء، فقد لا تستطيع رؤية الطائرة، لكنك تكـون علـى يقين من وجودها بسبب وجود الذيل الضبابى الذى تتركـه وراءهـا أثنـاء مرورها فى جو مشبع ببخار الماء، وبالطريقـة نفسـها تتـرك الجسـيمات المشحونة ذيولاً فى الغاز المشبع.

استُخدمت غُرَف السُّحُب بكثرة منذ ابتكارها كوسيلة للكشف عن الجسـيمات تحت الذرية. وفى أيامنا هذه لا يتم رصد مسارات الجسـيمات المشـحونة باستخدام غرف السحب بالضبط، وإنما تقوم "مجسات" إلكترونية باستشـعار

الجسيمات، ثم يقوم كمبيوتر بمحاكاة ما حدث على شاشته، وهذه طريقة مباشرة نسبيًا لمعرفة ما يتم فى لحظة الاصطدام عند نهاية الطرف الآخر للمعجل. كما يمكن استنباط الكثير من هذه المسارات؛ إذ من السهولة تمييز النقطة التى حدث عندها الاصطدام، بسبب الكم الكبير من المسارات التى تبزغ فجأة، مشيرة إلى تحرر عدد من الجسيمات المشحونة. كما يتم التعرف على الشحنة عن طريق استخدام مجال مغناطيسى، ومن طريقة انحناء المسار تتحدد شحنة الجسيم، سواء أكانت سالبة أم موجبة. كما تعتمد قيمة انحناء المسار على الصفات الذاتية للجسيم، مثل كتلته، وبالتالى، يمكن بالدراسة المتأنية التعرف على الشكل النمطى للمسارات التى يصنعها كل نوع من الجسيمات؛ إذ ينحنى بعضها قليلاً، بينما يدور الآخر فى شكل حلزونى للداخل. وبعبارة موجزة، فإن كل جسيم سيصنع مسارًا كما لو كان توقيعًا له يمكن منه التعرف عليه، فإذا ظهر مسار جديد لجسيم جديد بعد الاصطدام، فإن طول مساره ومقدار انحنائه بالمجال المغناطيسى سيعطيان مفاتيح لمعلومات عن كتلته وخصائص سلوكه الفيزيائى. وبهذه الطريقة، أمكن التعرف على الجسيمات، التى تتنبأ بها النظريات، عند ظهورها فى العالم الحقيقى داخل المعجلات.

البحث عن المادة المضادة

لم يمض وقت طويل حتى ثبتت صحة نظرية أخرى لا تتفق مع البديهة.. كان "بول دِيرَاك"، الذى شغل منصب أستاذ الكرسى اللوكاسيانى للرياضيات

بكيمبريدج (تماماً مثل ستيفين هوكينج اليوم، وإيزاك نيوتن منذ حوالى مائتى عام قبله)، قد توقع ــ باستخدام الرياضيات ــ ضرورة وجود "صورة مرآة" لكل جسيم موجود فى الطبيعة، وكان ذلك التوقع ناشئًا من المعادلات التى استخدمت لتفسير الطريقة التى يمكن أن تتصرف بها الجسيمات عند اتحادها لتكون الذرات. وقد بدا أن ذلك يعنى استتباعات ذات شأن، ومثيرة فى الوقت نفسه، فإذا كان للإلكترون صورة مرآة (أى جسيم له الكتلة نفسها، لكنه مشحون بشحنة موجبة)، فسيكون هناك بالضرورة جسيمات مضادة للجسيمات المكونة لنواة الذرة، وإذا كان اتحاد إلكترون سالب الشحنة مع نواة موجبة الشحنة ينتج ذرات من المادة، فهل ستعطينا الجسيمات المضادة ذرات من المادة المضادة؟

أصبحت فكرة "المادة المضادة" على الفور محيرة بدرجة كبيرة، خاصة عندما أكدت النتائج الرياضية النظرية وجود كل من المادة والمادة المضادة، فإذا قُدِّر لجسيم أن يلتقى مع الجسيم المضاد له، فمن المؤكد أنهما سيتلاشيان مع بعضهما فى احتراق ينتج عنه نبضات من الطاقة المحضة. لنا أن نسأل بناءً على ذلك: كيف يمكن لكل المادة الموجودة بالكون أن توجد وأن تُرصد بسهولة رغم وجود قدر مماثل لها بالضبط، نظريًا على الأقل، من المادة المضادة؟ فإما أنهما كانا سيتلاشيان معًا محررين طاقة، أو يظلان موجودين، وبالتالى يجب أن يكون بإمكاننا الكشف عن قدر من المادة المضادة مساوٍ لقدر المادة فى الكون، الأمر الذى لم يكن ممكنًا وقتها التأكد من صحته.

تمثلت الخطوة الأولى لحل هذا التناقض فى إيجاد دليل عملى علـــى صـــحة نظرية ديراك، وتحتم على العلماء إثبات وجود المادة المضادة فى الكون؛ لذا قاموا بصياغة السيناريو التالى: بما أن المادة كثيرة جدًا فى الكون، فـــإن أى جسيم مضاد لن يكون بمقدوره أن يوجد لفترة طويلة، فسرعان ما يتلاشـــى عند مقابلته للجسيم المناظر له مـــن المادة العادية، وبالتالى فإن كـــان ثمـــة جسيمات مضادة، فمن الجائز أن تكون آتية من الفضاء الخارجى مندفعة إلى جو الأرض تحت تأثير جاذبيتها، وبالتالى ستقابل أثناء سقوطها جُسَيْمًا مـــن المادة العادية ويتلاشيان، ومن ثم نحصل على برهان لنظرية ديـــراك التـــى توقعت ذلك.

أصبحت محاولة العثور على جُسَيم من المادة المضادة محض مغامرة، وأخذ الفيزيائيون، الذين كانت لديهم القناعة الكافية فى وجود المادة المضادة، غرف السحب إلى قمم الجبال كى تكون على أقصى ارتفاع ممكن فى الجو.. لقـــد جنوا الثمرة بالفعل، حيث شاهد "كارلْ أندِرسون" عام ١٩٣٢ مســـاراً فـــى غرفة السحب الخاصة به، تميز بنفس شكل المسار الذى يصنعه الإلكترون، إلا أنه كان صورة مرآة له. وبعبارة أخرى، فقد كان المسار ممثلاً للجســـيم المضاد للإلكترون (الذى أطلق عليه ديراك اسم "البوزيتْرون") قبل عام واحد فقط عندما تنبأ به نظريًا).. وإذا كان البوزيترون موجوداً، فـــإن الجســـيمات المضادة والمادة المضادة يمكن أن تكون موجودة، وأصبحت نظرية ديـــراك مؤيدة بتجربة عملية.

محاكاة الانفجار العظيم

نجح "جُونْ كوكْرُوفْتْ" و"إيرنِستْ والتونْ" عام ١٩٣٢ فى شطر ذرة عنصر الليثيوم لأول مرة فى تاريخ العلم، مستخدمين معجـل رذرفـورد بجامعـة كيمبريدج، وسرعان ما شوهدت مسارات المادة المضادة كنتيجة لتصـادمات الجسيمات فى المعجل، واعتاد الفيزيائيون عقب ذلك علـى فكـرة تخليـق جسيمات المادة المضادة واختفائها بعد تفاعلها مع جسيمات أخرى خلال جزء يسير من الثانية منذ لحظة تكونها، كما اعتـادوا علـى تفسـير الفواصـل الظاهرية بين المسارات المختلفة. وحدث فى بعض الأحيان أن ظهر مساران من لا شيء على الإطلاق بعد وقت قصير من التصادم، ولم يكن من الممكن عَزْوُ ذلك للصدفة، فلابد أن شيئًا ما نشأ من الاصطدام وانشطر إلى قسـمين ليكوِّن المسارين، ومع ذلك لم يظهر أى ارتباط لهذا بلحظة الاصطدام! كـان تعليل ذلك أن غياب تسجيل المسار عند لحظة التصادم لا يعنى عدم وجـود شيء، بل يعنى ببساطة أن المسار جاء من شيء غير مشـحون كهربائيًـا، بحيث لا يمكن التقاطه بواسطة المجس، مثل شعاع مـن الطاقـة الضـوئية المحضة.

فى نهاية الأمر كان ثمة تفسير لتلك اللحظات التى تنشأ فيها طاقة خالصة بعد التصادم، وقد ساعد هذا علماء الكونيات على فهم كيف أمكن لتلك المادة كلها فى الكون أن تتطور من الانفجار العظيم. ومع زيادة حساسـية المعجـلات، أصبح حجمها أضخم بسبب طول المسافة، التى كان على الجسيم أن يقطعها

لتزداد كتلته ولتقترب سرعته من سرعة الضوء، وبالتـــالى وجـــود درجـــة حرارة هائلة وضغط مرتفع عند لحظة الاصطدام، ومن ثم تم بنـــاء نمـــاذج مطورة للمعجل الذى صنعه رذرفورد فى البداية تميزت بمســـارات أطـــول بكثير.

فى وقت لاحق تم إدراك حقيقة إمكان تعجيل الجسيمات عن طريـــق جعلهـــا تدور مرات عديدة باستخدام قطبى مغناطيس لإحداث انحـــراف فـــى اتجـــاه حركة الجسيمات، حيث تتأثر الجسيمات المشحونة بالمغناطيس، وأصـــبحت المشكلة التقنية متمثلةً فى تصنيع الأنبوب الدائرى، أو النفق الذى سيتم تعجيل الجسيمات داخله، وأيضًا فى كيفية وضع الأقطاب المغناطيسية. وبُنيت بالفعل العديد من تلك النوعية من المعجلات التى عُرفت باسم "السَّـــيْكْلوتْرُون"[٣٣]، التى كلما زاد حجمها زادت تكلفة إنشائها وتشغيلها، إلا أنه كجهاز لا يقـــدر بثمن؛ إذ يُمَكِّنُنا من دراسة التصادمات التى تحدث عند ســـرعات ودرجـــات حرارة مهولة.

قام المُنظِّرون بحساب كمية الحرارة اللازمة لحدوث الانفجار العظيم كى يتم تخليق المادة التى فى الكون. وبدا واضحًا أنه إن كـــان باســـتطاعتنا خلـــق ظروف مشابهة لدرجة الحرارة تلك، ولو لبرهة، داخل المعجـــلات لأمكننـــا إلقاء نظرة على أنواع التفاعلات التى يمكن أن تكون قد وقعت فى حـــرارة

([٣٣]) من اللفظ الإنجليزى: Cycle، الذى يعنى دورة. (المترجم).

الانفجار العظيم، وفعلاً تم باستخدام أقوى المعجلات الحصول على درجات حرارة يُعتقد أنها كانت موجودة خلال الثانية الأولى من الانفجار العظيم.

تنبأت الرياضيات بدرجة حرارة ابتدائية عالية جداً عند بداية الانفجار العظيم، لدرجة أنه حتى بعد مرور ثانية من حدوثه وانخفاض درجة الحرارة بشكل واضح؛ ظلت مع ذلك مرتفعة لدرجة غير معقولة، أبعد بكثير مما نتخيله، وقد أثبتت تجارب التصادمات فى المعجلات، عند مثل تلك الحرارة، صحة ذلك، حيث كانت صورة المسارات من نقطة الاصطدام مختلفة تمامًا عن صورة المسارات التى نحصل عليها فى درجات الحرارة المنخفضة؛ إذ بدلاً من ظهور العديد من المسارات التى تنشأ فور الاصطدام، لم يظهر فى البداية أى منها، وبعد برهة من الاصطدام بدأت مسارات الجسيمات فى الظهور. وبقى السؤال، لماذا لا توجد تلك المسارات عند لحظة الاصطدام؟ بالطبع لم يكن هناك سوى تفسير وحيد ، وهو أنه عند درجة الحرارة الهائلة تلك، لا ينتج عن الاصطدام سوى طاقة محضة، ومن هذه الطاقة تبدأ الجسيمات، والجسيمات المضادة، فى الظهور بعد فترة زمنية قصيرة من التصادمات.

كانت الرسالة مذهلة بالنسبة لعلم الكونيات، فقد أوضحت تجارب المعجلات أن الطاقة المحضة فقط هى التى يمكن أن توجد عند درجات الحرارة المهولة التى تقترب من تلك التى بدأ بها الانفجار العظيم، ومع انخفاضها بدأت الجسيمات والجسيمات المضادة فى الظهور، وكانت تلك هى "الوصفة" لتخليق المادة والمادة المضادة، والتى تتفق ـ تمامًا ـ مع كل الأدلة المعروفة عن

وقوع الانفجار العظيم، كما تتفق مع النماذج الرياضية عن تلك البداية الانفجارية للكون، البداية التى نشأ منها ذلك الذى نراه اليوم، ومرة أخرى تم دعم نظرية غير قابلة للتصديق عن طريق التجارب العملية.

كان من الممكن قبول كل هذا لولا مشكلة المادة المضادة، فمسارات الجسيمات بالمعجلات لم توضح أى تعليل لوجود كمية ضخمة من المادة فى مقابل كمية ضئيلة من المادة المضادة فى الكون. كما أنها لم توضح لماذا لم يتلاش كل منهما مع الآخر بمجرد تكونه، وأفضل التفسيرات ـ حتى الآن ـ يُعتبر نظرية غير مبرهنة تقضى بأن كميات متساوية من الجسيمات والجسيمات المضادة تكونت فى البداية من طاقة الانفجار العظيم، ثم ظلت الكمية الزائدة من المادة العادية وتلاشى بعض من المادة المضادة. وبالفعل، توجد بعض الظواهر الفيزيائية التى تؤيد نظريًا وجود هذا الخلل فى التوازن بين كمية المادة العادية وكمية المادة المضادة، بحيث تلاشتا معًا، بالضبط كما تتوقع النظرية، مع بقاء زيادة طفيفة فى المادة العادية لم تُمَس وتُرِكَت لتُكَوِّن كل شيء فى الكون. وبالطبع من الممكن باستخدام معادلات أينشتاين، بما فيها المعادلة: ط = ك ع٢، حساب كمية طاقة الانفجار العظيم اللازمة لإنتاج مادة الكون كلها؛ إذ يستلزم الأمر بالفعل وجود خلل بسيط بين ما تم إنتاجه من مادة وما تم إنتاجه من مادة مضادة كى تبقى فى النهاية جسيمات بما يكفى لتكوين مادة الكون كلها.

ما الذى نعرفه عن الكون حتى الآن؟

كان أمراً مزعجًا ــ بالطبع ــ ألا تترتب الأمور بطريقة تجعلنا مطمئنين لصورة دقيقة مبرهنة عن ديناميكية الكون، ولكن ــ على الأقل ــ يتفق فهمنا الحالى عن المادة مع فهمنا للطريقة التى تطور بها الكون، ويمكن ضبط كل المعادلات الرياضية لتؤلف معًا صورة مدهشة عن الطريقة التى تطور بها.

لقد بدأ كل شىء بانفجار عظيم أنتج فى بدايته طاقة حرارية هائلة، ثم تطورت تلك الطاقة مع وجود فروق بسيطة فى نسيجها الحرارى كلما تمددت للخارج وبدأت تبرد، حيث سمحت تلك الفروق بوجود أماكن أكثر سخونة من أخرى فى خلال الثانية الأولى بعد وقوع الانفجار العظيم، ثم بدأت الطاقة فى التحول إلى جسيمات وجسيمات مضادة، وقُدِّر للمناطق الأكثر برودة أن تُكَوِّن أول الفراغات فى الفضاء، أما معظم الجسيمات والجسيمات المضادة فبدأت فى التجاذب بالقوى الكهرومغناطيسية، وفُقِد معظمها عن طريق عمليات التلاشى مُخَلِّفةً وراءها كمية من المادة تدور فى تكتلات غير منتظمة، وبعد مُضى ثلاث دقائق من الانفجار العظيم كان الكون ما يزال ساخنًا بحيث لم تبدأ الجسيمات تحت الذرية فى بناء أى شىء بعد، إلا أن بعضها أخذ يرتبط مُكونًا أنوية الذرات. ثم مرت ثلاثمائة ألف سنة انخفضت أثناءها درجة الحرارة لمستوى مناسب يسمح بازدواج الإلكترونات مع الأنوية لتكوين أولى الذرات، وعند ذلك الحد كان عشرون فى المائة من

الأنوية مشابهاً للنوع الموجود فى عنصر الهيليوم، والثمانون فى المائة الباقية كانت هيدروجين، أما كل العناصر الكيميائية المعروفة الباقية فتكونت لاحقا.

وفق المعادلات، مرت مليار سنة قبل أن تتجمع ملايين الملايين من ذرات الهيدروجين والهيليوم بواسطة الجاذبية، ليصبح هناك ملايين من تلك التجمعات، التى قُدِّر لكل منها أن يصبح جسمًا كونيًا ضخمًا، أُطلِق عليه اسم "المجرة"، وكلما ازداد ضغط الجاذبية على الذرات أكثر وأكثر، بدأت ذرات الهيدروجين فى الاندماج بالطريقة التى تنبأ بها هويل وزملاؤه، لتتكون النجوم مع بزوغ المجرة للوجود، وتضىء فى النهاية؛ لتبدأ بعدها دورة حياة كاملة للنجم تتكون فيها العناصر الأثقل، فتندمج ذرات الهيدروجين أولاً لإنتاج ذرات الهيليوم، ثم تبدأ ذرات الهيدروجين فى النفاد، فيزداد الضغط الجذبى الداخلى للنجم لتبدأ ذرات الهيليوم فى الاندماج، وخطوة خطوة يتم إنتاج العناصر الأثقل، بحيث كلما تكون أحدها يُستخدم كوقود لتفاعلات اندماجية أخرى لإنتاج العنصر الأثقل التالى له، وينضغط النجم بالجاذبية إلى كتلة أكثر كثافة. وتتوقف نهاية حياة النجم بعد ذلك على حجمه، فبمجرد تكون عنصر الحديد يموت النجم ببطء وينثر العناصر فى الفضاء تاركاً وراءه نجمًا من نوع "الأقزام البيضاء" يبرد فى النهاية ويتحول إلى قزم بنى (عبارة عن شبح من الحديد يتجول فى الفضاء)، أو قد يموت النجم ــ ذو الكتلة الأكبر ــ بشكل عنيف، منفجراً فى شكل مستعر عظيم "سوبرنوفا" خالقًا العناصر الأثقل من الحديد فى ذلك الانفجار، ثم تنجرف تلك العناصر للفضاء حتى يتم سحبها بعد ذلك نحو جسم سماوى جديد، فإذا ما تم سحب

مادة كافية، من الممكن أن يولد نجم جديد، أما إذا لم تبدأ عمليات اندماجية جديدة فمن الجائز أن يتكون فى هذه الحالة كوكب كالأرض، وفى ظروف مناسبة يمكن أن تنشأ حياة، وهذا بالضبط السبيل الذى جئنا به إلى سطح هذه الأرض لنرصُد المعجزة التى خلقت الكون منذ ١٥ مليار سنة.

ما يزال العديد من الناس يرفض تصديق تلك القصة العجيبة، ولكن عندما نجمع كل الأدلة من فيزياء النظم الكبيرة وفيزياء النظم الصغيرة، سنجد أنه من الصعوبة تصور وجود بديل أفضل من تلك الرؤية.. لقد قطع علم الكونيات بالفعل طريقًا طويلاً من الأرصاد الأولى بالعين المجردة إلى التطبيقات التخيلية للرياضيات.

إذا ألممنا بالأسباب التى تجعل تلك القصة الثورية المذهلة حقيقة، فيبدو الآن أن لدينا صورة كاملة عن كل شىء تقريبًا؛ إلا أن هناك المزيد الذى يحتاج إلى شرح وتفسير. ومن المناسب، تواضعًا، أن نُذَكِّر أنفسنا كيف راجع علماء الكون أفكارهم بشكل جذرى، منذ أرصاد جاليليو أولاً، حتى أدلة هابل المذهلة. ومهما بدا من ثبات الأدلة الحالية عن الكون المتمدد المتطور، فمن المهم أن نذكر – أيضاً – أنها معتمدة على التحليل الضوئى لذلك الجزء من الكون الذى باستطاعتنا أن نراه فعلاً، كما أن هناك أسبابًا قوية تجعلنا نعتقد أن هناك المزيد عن الكون ما يزال علينا اكتشافه؛ إذ إن ما نراه حقيقة لا يمثل سوى عُشْر ما فى الكون، ويعتقد العلماء أن ٩٠٪ من طبيعة الكون الأساسية لم تظهر لنا بعد، ويبدو أننا لم نر – حتى الآن – سوى قمة جبل الجليد!

الفصل الثامن

البحث فى الظلام

الهالة الخفية

كانت ليلة قاسية من الليالى التى لا يرغب أحد فيها أن يخرج من منزله، عوَت فيها الرياح بغضب لتضرب بالمطر إطار النوافذ، وتسرب البرد من تحت الأبواب مذكراً بدفء المنزل. فى تلك الليلة بالذات اعتزمت "فِيراْ رُوبِينْ" القيام برحلة عبر الطريق السريع لحضور الاجتماع السنوى لاتحاد الفلكيين وعلماء الكونيات الأمريكيين، ولم يكن من المعتاد أن يُعطى وقت لكل الأعضاء كى يخاطب الجمع المحتشد، وبالأحرى ما كان ذلك ليحدث بالنسبة لامرأة! إلا أن فيرا كان لديها شىء خطير تود إعلانه، فقامت ليلتها بربط رضيعها فى المقعد الخلفى للسيارة واصطحبت والدها معها بعد إقناعه للقيام على رعاية الرضيع أثناء إلقائها لبحثها، وانطلقت مسافرة فى تلك الليلة القاسية.

لقد اكتشفت فيرا شيئًا ما فى دوران المجرات فشل فى تفسيره معظم الفلكيين وعلماء الكونيات؛ إذ بفرض أن كل ما نراه من نجوم فى مجرة ما لديه حرية كاملة فى أن يؤثر على بعضه البعض عن طريق الجاذبية، بنفس الطريقة التى تسيطر بها الجاذبية على حركة المجموعة الشمسية، فإنه يتعين على

المجرة أن تدور بطريقة مختلفة! وقد أعادت فيرا اختبار الأرصاد المتاحة عن مجرات معينة عدة مرات، واقتنعت أنها على صواب، حيث بدا لها أن المجرات يجب أن تدور كعجلة ضخمة من المادة وليس – كما نراها – كتجمع مركب من نجوم منفردة تدور فى مدارات حرة منفصلة حول مركز المجرة. (راجع الصورة رقم ٢٢).

من وجهة نظرها لم يكن هناك غير تفسير واحد، تمثل فى ضرورة وجود جزء غير مرئى من المجرة بحيث يشكل هذا الجزء معظم كتلة المجرة، وليس فقط تلك النجوم التى نراها تلمع فى السماء. تلك المادة المظلمة غير المرئية لا بد وأن تكون ذات كتلة ضخمة تمسك النجوم فى مواقعها لتُشَكِّل منها الصُرَّة اللامعة لعجلة ضخمة عملاقة غير مرئية، وبالتالى تكون بعض تلك النجوم منتشرة خارج المادة المظلمة وخلالها لتُشكل الأذرع الحلزونية للمجرة، كأشبه ما تكون بالكريمة الدائرة على سطح فنجان قهوة.

دهشت فيرا من الاستقبال الجاف لبحثها؛ إذ لم يرغب أحد فى أن يأخذ أفكارها مأخذ الجد. ربما كان ذلك بسبب تحيز الجمع الكبير من الرجال الحاضرين لجنسهم، وبالتالى لم يكونوا على استعداد لقبول فكرة أن تكون النساء فلكيات أو من المهتمين بعلم الكونيات. مع ذلك، لم يَمس هذا الحكم المُسبق، والمفزع، حقيقتها كأكاديمية، إلا أن رفض دراستها كان كافيًا لدرجة جعلت فيرا تشك فى نفسها. وتساءلت، هل من الممكن أن تكون الأدلة الرصدية قد ضللتها؟ واهتزت ثقتها بنفسها بعنف، فغادرت المكان متوجهة

لمنزلها فى الجو العاصف لتقضى بعد ذلك بضع سنوات متجاهلة علم الكونيات ومتفرغة لرعاية أسرتها.

للسخرية، اتضح بعد ذلك أن فيرا كانت على صواب تماماً. ورغم أنه يصعب إثبات وجود شيء لا يمكنك الكشف عنه، إلا أن وجود المادة المظلمة كما توقعتها فيرا روبين قد تم إثباته بمساعدة نماذج الكمبيوتر.

إن بإمكاننا حساب المسافات إلى النجوم والمجرات بدقة عالية، من خلال تحليل طيفها الضوئى، عن طريق النجوم القياسية وغيرها، ومن ثم يمكن أخذ أرصاد متتابعة خلال فترة زمنية لمعرفة التغيرات فى المواقع النسبية للجيران المتقاربين فى السماء، بالطريقة نفسها التى رصدنا بها التغيرات فى مواقع الكواكب فى مجموعتنا الشمسية لأول مرة، وعن طريق تطبيق المعادلات الرياضية الخاصة بالجاذبية، لنيوتن وأينشتاين، على أبعاد الكواكب عن الشمس كنا قد تأكدنا من نمط الحركة فى المجموعة الشمسية. فإذا كان هذا هو الحال مع المجموعة الشمسية، فلماذا لا نحاول بناء نموذج بالكمبيوتر يُحاكى الحركة فى المجرة باستخدام المبادئ نفسها؟

تتم فى البداية برمجة الكمبيوتر بالرياضيات الخاصة بالجاذبية، وبأبعاد النجوم المرصودة عن مركز المجرة، فيُصبح بإمكاننا توقع تحركات النجوم حول مركز المجرة؛ وللمقارنة نستخدم الرياضيات نفسها لبناء نموذج للحركة فى المجموعة الشمسية، فإذا نجح نموذج المجموعة الشمسية، التى نعرف أن لا شيء ــ غير مرئى ــ يؤثر عليها، فسيكون من الممكن توقع أن هذه

الصيغ تصلح أيضًا لوصف الحركة فى المجرة.. لكن، فى الوقت الذى أنتج فيه الكمبيوتر، مستخدمًا تلك المعادلات الرياضية، نموذجًا يتوقع بكفاءة الحركة المرصودة بالفعل للمجموعة الشمسية، فشل تمامًا فى بناء نموذج للمجرة يحاكى الحركة المرصودة لها. بعبارة أخرى، كان من الضرورى وجود شىء آخر يجب أن يؤخذ فى الاعتبار؛ وإذ لا يوجد أى دليل على وجود قُوى أخرى، غير قُوى الجاذبية، يمكنها التأثير فى خلق التركيب الذى نراه فى الكون، فسيكون الاحتمال الأكثر قبولاً وجود مادة مظلمة غير مرئية حول المجرة تحيط بها كهالة ضخمة. وببرمجة الكمبيوتر بأرقام تعبر عن طبيعة تلك المادة غير المرئية، يمكننا التنبؤ بنموذج مماثل لما نرصده بالفعل من حركات للمجرة.

هذا ما حدث بالضبط، فقد تنبأت أكثر نماذج الكمبيوتر واقعية عن الانفجار العظيم، بكمية كبيرة من المادة، أكثر بكثير من التى تم رصدها بالكون، وبالتالى لم يعد هناك شك فى وجود المادة المظلمة. وتشير الرياضيات إلى أن تلك المادة المظلمة تشكل رقمًا مذهلاً، حوالى تسعين فى المائة من مادة الكون الكلية. لكن ما طبيعة تلك المادة المظلمة بالضبط؟ وما شكلها؟ هل هى ببساطة مثل المادة التى تُكوِّن النجوم اللامعة ولكنها فقط لم تنجرف بالجاذبية لمثل تلك المناطق النشطة؟ لقد اكتشفنا بالفعل جميع العناصر، التى تتكون منها النجوم، هنا على الأرض، وهى لا تشع ضوءًا بحيث يمكن الاستدلال عليها منه ـ باستثناء العناصر ذات النشاط الإشعاعى المرتفع، كالراديوم؛ لذا، بات واضحًا أن المادة غير المرئية ربما كانت موجودة كمادة مظلمة فى

الأصل. لكن، كيف يتسنى لنا الكشف عنها وهى بعيدة عنا بملايين الأميال فى أغوار الفضاء؟ على أية حال نحن نعلم، على الأقل، فى أى اتجاه يجب أن ننظر: بالضبط حول الهُدُب المضيئة للمجرة، حيث نتوقع وجود هالة المادة المظلمة، ولكن كيف يمكننا التعرف عليها وهى لا تشع أى حرارة أو ضوء؟

رجال "الماكو"

أطلق أول من أخذوا التحدى على عاتقهم من متخصصى الفيزياء الفلكية، اسمًا مركبًا على ذلك الشىء الذى يبحثون عنه: كلمة "ماكو" MACHOs[٣٤]، وهى تكون الأحرف الأولى من الكلمات الإنجليزية التى تعنى: "هالة الأجسام النجمية الثقيلة المُنضغطة". وفى محاولة الوصول لخصائص المادة المظلمة اللازمة لتفسير حركة المجرات، تبين أن هذه الأجسام يجب أن يكون لها كتلة تتأثر بالجاذبية، كما يجب أن توجد فى هالات حول المجرات، وأن تكون منضغطة وكثيفة. ولم يكن ثمة داعٍ لافتراض أن لهذه الأجسام أيًا من دلالات الاسم الذى أطلق عليها، إلا أن الاسم ربما أعطى فريقَ البحث صورة ليعيشوا من أجلها.

لقد وجدوا بالفعل الطريق المناسب، فقد سبق أن توقع أينشتاين انحراف الضوء بسبب انبعاج الزمان والفراغ الذى يسببه وجود أى جسم ذى كتلة عند

---

(٣٤) "ماكو": Massive Astrophysical Compact Halo Objects (MACHOs). (المترجم).

اعتراضه لمسار الضوء الطبيعى القادم فى خطوط مستقيمة من أجرام سماوية أخرى. بل لقد حسب أينشتاين بالضبط مقدار هذا الانحراف عن الخط المستقيم. وقد كانت فكرته تلك فكرة جبارة فى زمانه، الأمر الذى تطلب ابتكار تجربة غير عادية للبرهنة عليها.

عقب الحرب العالمية الأولى مباشرة، قاد الفلكى البريطانى "آرثرْ إدينجتونْ" فريق عمل كان يهدف لمعرفة إن كان باستطاعة كتلة الشمس حرف مسار ضوء أحد النجوم البعيدة، أثناء مروره بها وهو فى طريقه للأرض، أم لا؟ بالطبع، يغطى ضوء الشمس على ضوء أى نجم عند حدوث ذلك، ومع ذلك هناك استثناء وحيد: إنه الكسوف الكلى للشمس؛ لذا قام إدينجتون مع فريقه بحساب الموضع "الطبيعى"(٣٥) لنجم معين بالمقارنة بجيرانه فى سماء الليل، آخذاً فى حسابه أن الشمس ستكون واقعة تماماً بين النجم والأرض فى وقت الكسوف الكلى للشمس عام ١٩١٩، عندما يحجب القمر ضوء الشمس تماما. وكانت الخطة أن يتم تصوير المساحة حول الشمس أثناء كسوفها الكلى. وهكذا، فإن النجوم سوف تظهر فى مواقعها العادية بالطبع، فيما عدا ذلك النجم تحت الدراسة، فإن كان أينشتاين محقًا فسيكون للشمس تأثير جذبى على الضوء القادم من النجم بحيث ينحنى مساره ليبدو فى موقع مختلف عن موقعه الطبيعى، والنجم سيبدو بالضبط فى الموقع الذى تنبأت به معادلات

---

(٣٥) الموضع الطبيعى للنجم تُحدده إحداثيات فى نظام إحداثيات تقع نقطة الأصل له فى مركز الشمس. (المراجع).

أينشتاين لو أنه كان على صواب. وهذا ما حدث بكل تأكيد عندما وقع الكسوف الكلى للشمس.

تكمن أهمية تجربة إدينجتون فى أنها أثبتت صحة نظرة أينشتاين – وليس نيوتن – عن الجاذبية، كما أنها أوضحت بدقة أن الضوء ينحنى بالفعل عند ارتحاله فى الفضاء واعتراض كتلة ما لمساره. لقد كان هذا ما علق بذاكرة رجال "الماكو" الذين كانوا يبحثون عن وسيلة لكشف المادة المظلمة، فاقترحوا أنه إذا كان بعض من المادة المظلمة يتميز بكتلة ذات بال تعترض الضوء القادم من أحد النجوم، فإن ذلك سيسبب ظهور النجم بلمعان أكثر! وكان السبب فى ذلك وجيهًا، ومع ذلك فليس من السهل إيضاحه.

تخيل أن الضوء المنتشر خارجًا من النجم يتكون من عدد من أشعة الضوء المنفردة، سيصبح بإمكاننا على الأرض أن نكشف عن ذلك الشعاع الذى اتجه ناحيتنا، أما إذا اعترض سبيل الشعاع مادة مظلمة، فإنها ستعمل على انحناء مساره بتأثير الجاذبية، ثم تفعل ذلك مع الشعاع الذى يليه وهكذا، حتى يصل إلينا على الأرض فى النهاية شعاعًا منحنيًا مع الشعاع الأصلى غير المنحنى القادم من النجم، وبالتالى سيظهر النجم أكثر لمعانًا بمقدار الضعف.

يُعرف هذا النوع من التأثيرات باسم "التأثير العَدَسى للجاذبية"، حيث إنه يكافئ تمامًا عملية تجمع الضوء بواسطة عدسة عادية فى بؤرة مُركزة. ومن وجهة نظر رجال "الماكو"، يجب أن يَحدث هذا التأثير كلما اعترضت المادة المظلمة الطريق بين أحد النجوم وبيننا حين نرصده من الأرض؛ لذا إن أمكن

اكتشاف مثل هذا الحدث فسيصبح دليلاً على وجود المادة المظلمة، وإذا حدث أن اكتشف هذا الدليل، فسيكون السبب فيه تلك المادة المظلمة المُركزة في تكتل كبير ذي كثافة وكتلة متميزة، وستكون أكثر الأشياء ملاءمة لتمثيل هذه المادة المظلمة تلك الأجسام الكبيرة التي تم التنبؤ بوجودها في نهاية دورة حياة النجوم. (راجع الصورة رقم ٢٣).

لعلك تذكر أن هويلْ، وآخرين، قاموا بحساب كيفية تطور نجم عن طريق استمراره في دمج العناصر الأخف إلى العناصر الأثقل التي تليها بالجدول الدوري: فيندمج الهيدروجين أولاً إلى الهيليوم، ثم يتوالى دمج العناصر كلها وصولاً إلى الحديد. والنجوم الصغيرة لا تتعدى مرحلة الحديد؛ لأن قوى الجاذبية التي تعمل داخل النجم لن يكون بمقدورها توليد ضغط داخلي بما يكفي لدمج ذرات الحديد لعنصر أثقل منه، من ثم يموت النجم الحديدي بالتدريج ويبرد مُخلفاً وراءه نجمًا قزمًا بنيًا لا يشع ضوءًا. وهذا مثال جيد لقطعة كبيرة من المادة المظلمة، وهو بالضبط الشيء الذي يأمل رجال "الماكو" أن يكتشفوه عمليًا.

لم يكن ذلك أمراً سهلاً، فقد اختاروا القيام بأرصادهم من نصف الكرة الأرضية الجنوبي، موجهين أنظارهم نحو منطقة "السحابة الماجلانية الكبرى"، التي تحتوي على مجرة صغيرة قريبة نسبيًا، وقد وقع اختيارهم عليها كمكان من المتوقع أن يجدوا فيه هالة من المحتمل احتواؤها على وفرة من المادة المظلمة، إلا أن تلك المجرة الصغيرة بها مئات الملايين من النجوم، فكيف سيمكنهم اتخاذ قرار برصد أي منها ليروا ما إذا كان سيبدو

أكثر لمعانًا على مدار فترة زمنية مقدارها شهر أو شهران؟ كان الحل أن يُترك الأمر لتلسكوب مُتصل بكمبيوتر يمكنه أخذ عينات من مساحة كبيرة فى السماء، إذ سيكون الرصد بهذه الطريقة بالغ الدقة فى اختيار الأماكن الأكثر أهمية لتتم دراستها بعد ذلك عن كثب. فقاموا بابتكار نظام اشتمل على كمبيوتر ليراقب تلك المساحة من السماء، وقد تمت برمجته ليكشف – ليلة إثر ليلة – عن أية منطقة يحدث فيها تغير فى شدة الضوء المُسجل لنجومها، وبمجرد أن يتم التعرف على تلك المناطق، يتم فحصها لمعرفة ما يحدث.

لسعادتهم، أعطت تلك الطريقة فيما يبدو نتائج مشجعة، فقد كان هناك العديد من المشاهد تتفق مع النماذج المتوقعة، بمعنى ظهور نجم يزداد لمعانه أكثر من المعتاد على فترة شهر تقريبًا، بل لقد أظهر عدد من النجوم ذلك التأثير على التوالى، مما أيَّد وجود "ماكو" أمام كل منها. وعلى ذلك أصبح لدينا – الآن – دليل جديد على وجود المادة المظلمة. مع ذلك، بقى سؤالان رئيسان يبحثان عن إجابة، أولهما: ما مقدار المادة المظلمة الموجودة بالضبط؟ وثانيهما: هل يمكن للمادة المظلمة أن تفسر حركة المجرات كلها؟

المصير النهائى للكون

اقترحت فيرا روبين أن تسعين فى المائة من الكون يجب أن يكون مادة مظلمة؛ وبعبارة أخرى، فإن النجوم(٣٦) التى يمكننا رؤيتها لا تشكل سوى عشرة فى المائة فقط مما قد يوجد فى الكون. ويثق رجال "الماكو"،

(٣٦) بالإضافة إلى كل النُّظُم الفلكية المختلفة. (المراجع).

معتمدين على طبيعة وتكرارية اكتشافاتهم، أن حوالى نصف المادة المظلمة يمكن عَزْوُه إلى الأجسام التى يرصدونها، إلا أن ذلك يترك وراءه المزيد الذى يجب تفسيره. وبالتالى، فإن الطريق مايزال أمامنا طويلاً لمعرفة كمية المادة المظلمة بالضبط، ومدى كثافتها، وأيضًا مدى قوة تأثيرها الجذبى. إن مثل تلك الأسئلة لا تهُم الأكاديميين وحدهم، حيث إن أجوبتها ستساعدنا فى كشف المصير المحتوم للكون.

إن خيارات النهاية يمكن أن تكون مذهلة فى تفاوتها، فأحد السيناريوهات يقترح نهاية درامية للكون تنعكس فيها عملية التمدد لانكماش يُحوِّلَه فى النهاية إلى "مفردة"، فينفجر على نفسه مخلفًا وراءه العدم فى انسحاق عظيم.

ليس ثمة داعٍ للانزعاج حاليًا؛ إذ لو حدث ذلك فلن يكون قبل مضى مليارات السنين. ويقترح سيناريو آخر أن الكون سيتمدد للأبد نحو مزيد من الهدوء كلما انخفض معدل التمدد، لكنه لن يتوقف أبدًا عن تمدده. ولمعرفة أى من هذين الخيارين المتباينين سيشكل المستقبل الذى ينتظر أحفادنا، يجب علينا معرفة كتلة المادة المظلمة فى الكون. لقد أوضحت أرصاد هابل للإزاحة الحمراء أن الكون يتمدد، وكان الدليل على ذلك أن المجرات الأكثر قِدَمًا (والأبعد مسافة عنا) ترتحل مبتعدة بسرعات أكبر من المجرات الأحدث عمراً (والأقرب إلينا)، وبمرور الوقت ستزداد الفراغات بين المجرات؛ لذا، فعندما نقول إن الكون يتمدد فإنما نعنى أن الفضاء نفسه يتمدد. ويعتقد غالبية علماء الكونيات والفلكيين الحاليين أن قوة التمدد، التى تعمل على جعل الكون أكثر اتساعًا، هى قوة الانفجار للخارج التى نشأت بالانفجار العظيم، وأيًا ما

كانت تلك القوة، فهى موجودة بالفعل، علاوة على أن الملاحظ أن سرعة التمدد تتناقص بمرور الزمن.

بزغ هذا الاستنتاج من رصد المجرات على فترات منتظمة واختبار سرعاتها من وقت لآخر عن طريق قياس مدى إزاحة خطوط فراونهوفر نحو اللون الأحمر فى طيفها الضوئى، وقد اتضح أن سرعات ابتعادها عنا تقل باستمرار مع مرور الزمن، وهذا يعنى أن ثمة قوة تعارض قوة التمدد وتبطئ من سرعتها، وقوة الجاذبية ـ فقط ـ نعرف أن لها مثل هذا التأثير.

حسب نظريات نيوتن وأينشتاين، فإن الشد الجذبى للداخل يزداد كلما زادت المادة فى الكون فى محاولة لتكتل المادة كلها مع بعضها فى صورة مركزة مختلطة عظيمة، ولكن رغم ذلك ما نزال نرى الكون مُتسعًا ومنتشرًا، علاوة على أنه مازال يتمدد كما نرصده اليوم، وعلى هذا فإن قوة التمدد ـ الآن ـ أكبر بقليل من قوة التجاذب المناوئة لها.

تتباطأ قوى التمدد ـ أيضًا ـ بعض الشىء، الأمر الذى يعنى أن بالكون مادة تكفى لإنشاء تأثير جذبى يؤدى لهذا التباطؤ. إلا أن هذا لا يعطينا فكرة إن كانت المادة ستكفى فى النهاية لوقف التمدد حتى تبدأ بعد ذلك فى سَحْب مادة الكون كلها لكتلة أصغر فأصغر مع ازدياد كثافتها لتنفجر فى النهاية للداخل فى انسحاق كبير، أم لا؟ وفى المقابل، ربما لا توجد مادة تكفى لجعل الجاذبية تسود على قوة التمدد، وفى هذه الحالة لن يتوقف التمدد أبداً، وسيستمر إلى ما لا نهاية، إلا أن سرعته ستقل شيئًا فشيئًا.

من الصعوبة، إذن، أن نخمن الإجابات لأى من البدائل المطروحة. فنحن مازلنا بعيدين عن معرفة الكم الحقيقى للمادة فى الكون؛ إذ إن ما تم اكتشافه من "الماكو" لا يُشكل ما يكفى من المادة المظلمة حتى لتعليل الحركة الدورانية للمجرات، وعلى هذا، فما هى يا تُرى النوعية الأخرى للمادة المظلمة التى يمكن أن توجد؟

لقد ظهر أحد المفاتيح الواعدة لحل هذا اللغز من نظريات الفيزياء تحت الذرية. فقد رصدنا بالفعل فى المعجلات كيف يمكن للطاقة أن تتحول لجسيمات وبالعكس، عارضةً لنا رقصة غريبة تحاول فيها الطاقة والمادة الوصول للاستقرار على وضع أكثر ثباتًا فى ظل الظروف بالغة الحِدَّة داخل المعجلات، كما أن بعضًا من هذه الجسيمات الناتجة فى تلك العمليات غريب فعلاً، حتى إن خواصها الفيزيائية لا يمكن الكشف عنها عمليًا بسهولة، ومع ذلك فوجودها لا بد منه حتى يكون هناك معنى للمعادلات الرياضية التى تفسر التفاعلات النووية العنيفة. كذلك، بسبب استخدامنا للنماذج الرياضية يمكننا القيام برصد استتباعات التصادمات الانفجارية الضخمة للجسيمات، ولأن هذه النماذج تتنبأ بإنتاج جسيمات أخرى أكثر غرابة، ولأن الانفجار العظيم يجب أن يكون أشد تفاعل نووى قد حدث، فيجب بالتالى أن يكون قد أنتج وفرة من هذه الجسيمات الغريبة. من المعقول، إذن، أن نحاول الكشف عن تلك الجسيمات فى الكون لنرى إن كانت ستكشف لنا عن المادة المظلمة المفتقدة، وبالتالى تشرح لنا المصير النهائى للكون، أم لا؟

الفصل التاسع

رحلات استكشافية مثيرة

يُعد البحث عن المادة المظلمة العادية من الصعوبة بمكان؛ ويشهد على ذلك رجال "الماكو"، فليس من السهل العثور على نجم، ضمن ملايين غيره، يزداد لمعانه خلال زمن مقداره شهر عندما تمر أمامه مادة مظلمة. أما البحث عن المادة المظلمة الغريبة فأشد صعوبة، ويعرف علماء الكونيات من حساباتهم النظرية خصائص تلك الجسيمات التى يودون العثور عليها، وتلك الخصائص تؤكد بشكل دائم ـ تقريبًا ـ أن الكشف عن هذه الجسيمات سيكون أمراً عسيرًا.

اصطياد "النيوترينو"

جُسيم "النيوتْرِينو" أحد الأمثلة الواضحة على ذلك، وهو جدير بالاصطياد؛ إذ تخبرنا المعادلات أن التفاعلات النووية تنتج كميات وفيرة منه، ولكنه من الصِغر لدرجة أن تفاعلاته مع غيره من الأشياء تعد أمراً بعيد الاحتمال، فهو يَنْفُذ من خلال أى شيء يعترض مساره، حتى أجسامنا، التى تصدمها باستمرار النيوترينات الناتجة من الاندماجات النووية الحادثة بالشمس. هذا الجسيم الصغير المحير والمخادع يمر خلالنا مباشرة دون أدنى إعاقة، ويستمر فى رحلته لينفذ من كوكب الأرض داخلاً من جهة ليخرج من

الأخرى! وعلى هذا، فما هى يا تُرى فرصتنا فى التقاط واحد منها؟ خاصة أن النظريات تُخبرنا بأنه عديم الشحنة وعديم الكتلة (وهما الخاصتان الأساسيتان اللتان طالما استخدمهما فيزيائيو الجسيمات فى غُرَفِ السحاب ومعجلات الجسيمات للكشف عن الجسيمات الجديدة وغير المعروفة).

لعلك تعجب لهذا الاهتمام والانشغال بمحاولة الكشف عن هذا الجسيم رغم عدم وجود كتلة له، إذ مهما كان عدد ما يمكننا كشفه منها فلن يؤثر ذلك على القوة الكلية للجاذبية فى الكون، وبالتالى فلن يُشكل جزءاً من المادة المظلمة المفتقدة. إلا أنه لو كان له قَدْر، ولو ضئيل، من الكتلة، فإن عدداً كبيراً منها سيمكننا من تعليل معظم المادة المظلمة المفتقدة فى الكون، إن لم يكن كلها.

لقد توقع العالم الفيزيائى "فولفجانجْ باولى°" وجود النيوترينو عام ١٩٣٠، كحل مُحْكَم لمشكلة ما يحدث للطاقة فى المفاعلات النووية، واستغرق الأمر خمسة وعشرين عامًا قبل أن يتمكن أحد من الكشف عنها؛ وعشر سنوات أخرى قبل أن يثبت البعض ضرورة وجودها بشكل طبيعى فى بعض حلقات تطور الكون، وكان للأمريكى "فريدريكْ رينز°" إسهام فى كلا الكشفين. لقد اشتهر فريدريك، فى صغره على الأقل، بحب تحدى الصعاب، ويبدو أنه أراد اقتفاء أثر النيوترينو لهذا السبب أكثر من أى سبب آخر، لذا اقترح أنه طالما كانت النيوترينات تنتج من التفاعلات النووية، فمن المنطقى أن نبحث عنها فى قلب انفجار نووى وبدأ فى محاولة جَدِّيَّة لبناء كاشف يمكنه البقاء سليمًا عقب تفجير قنبلة نووية اختبارية، إلا أن الأجهزة لم يكن من الممكن أن تكون

حساسة بدرجة تكفى لرصد النيوترينات، وفى الوقت نفسه تكون قوية بحيث تظل غير متأثرة عقب الانفجار.

إن ما قام به فريدريك فى الخمسينيات كان عملا فذا بكل المقاييس، فقد أوضح إمكان تولد النيوترينات بالقرب من محطة كهرباء نووية بكمية يمكن الكشف عنها، بالرغم من أن التفاعلات النووية بالمفاعلات لا تقارن من حيث القوة مع تلك التى ينتجها انفجار قنبلة نووية. على أية حال، ستَمُر النيوترينات من الدرع الواقى للمفاعل، الذى يحجز الجسيمات تحت الذرية الأخرى الناتجة من التفاعلات النووية، لتتجه إلى المنطقة المحيطة. ولكن معرفة أن النيوترينات موجودة بمثل هذه المنطقة شىء، وأن يتم تصميم جهاز له القدرة على كشفها شىء آخر، وفى جميع الأحوال، فإن النيوترينو جسيم له القدرة على النفاذ من الدرع الواقى للمفاعل؛ إذ ليس له شحنة كهربائية، وكتلته قليلة، إن وجدت.

تمثل الحل – بالطبع – فى عدم البحث عن الجسيم نفسه، وإنما عن الأثر الذى يحدثه مساره، حيث تنطلق طاقة بسيطة عند اصطدام أكثر الجسيمات ضآلة بشىء ما، ويمكن اكتشافها عن طريق ومضات الضوء الخاطف المماثلة لما رآه "رذرفورد" فى تجربة رقيقة الذهب، تلك التجربة التى أسهمت فى الكشف عن تركيب الذرة. على ذلك، لن تشذ النيُوترينات عن هذه القاعدة، فكلما اصطدمت بشىء ما فسيكون هناك علامة على وجودها وسيمكن الكشف عن هذه العلامة نظريًا. كذلك يمكن بطريقة بسيطة، نوعًا ما، بناء كاشف يقوم بتسجيل انطلاق تلك الومضات الضوئية الخاطفة.

وكانت المشكلة تكمن فى كيفية معرفة إن كانت النيوترينات هى المتسببة فى تلك الومضات، أم الجسيمات الأخرى؟ وبفرض عدم وجود أية اضطرابات فى الوسط، سيوجد آلاف، إن لم يكن ملايين، من الومضات التى يسببها النيوترينو والتى يمكن تسجيلها. لكن تمييز ومضة النيوترينو من بين كل الومضات الأخرى – التى تسببها العديد من الجسيمات الأخرى – سيكون كالبحث عن إبرة فى كومة من القش.

لكن فريدريك أحب التحدى، فقد نجح – بصبره، وعلى قدر استطاعته – فى التعامل مع كاشف النيوترينات عن طريق عزل الومضات التى تسببها الجسيمات الأخرى، وبالتالى يصبح من الممكن دراسة الومضات الأخرى عن قُرب لمعرفة توافقها مع نظرية النيوترينو من عدمه. فتعين عليه أولاً أن يجد مكانًا مناسبًا لتجربته، واستقر رأيه أن يكون ذلك على عمق كبير فى باطن الأرض حيث سيُعزل طبيعيًا تشويش عدة مصادر متوقعة من الجسيمات، التى ليس لها القدرة على اختراق سطح الأرض والوصول إلى هذا العمق، ثم قام ببناء درع حول الكاشف أقوى من دروع المفاعلات النووية. وفى الوقت الذى يهدف فيه مهندسو الطاقة النووية ببناء الدروع الاحتفاظ بمعظم الجسيمات تحت الذرية ومنعها من النفاذ لخارج المفاعل، أراد رينز وزملاؤه درعاً يصد الجسيمات بقدر الإمكان لمنعها من النفاذ للداخل حيث يوجد كاشف النيوترينات، وبهذه الطريقة سيمكن – فقط – للجسيمات ذات القدرة العالية على الاختراق، كالنيوترينات، أن تنفذ لتصل إلى الكاشف محدثة الومضات الضوئية.

عقب انتهائهم من كل عمليات الإعداد، قام فريق العمل بعدة تجارب لمعايرة الكاشف، فغذوه عن عمد بنبضات إلكترونية تم تصميمها لتحاكى سلوك الجسيمات التى يبحثون عنها ــ وهى النيوترينات بالطبع ــ بدقة فائقة تعز على التصديق، وذلك كان يعنى حساب خصائص النيوترينو بحيث تكون الإثارة التى تحدثها النبضة الإلكترونية بالكاشف مماثلة تمامًا لتلك التى قد يحدثها النيوترينو الحقيقى، وقد شاهدوا منظراً للنموذج الذى يحاكى النيوترينو الحقيقى وتعرفوا عليه. وعقِب انتهاء عمليات المعايرة، وبعد رصد نتائج العديد من تجارب المحاكاة الإلكترونية للتأكد من كونها جميعًا تعطى الأنماط نفسها لومضة النيوترينو، أصبحت المسألة مسألة وقت. لقد كان الأمر شبيهًا بالصيد، فبمجرد قيام الصياد بالإعداد السليم للشص والخيط والغاطِس، سيكون كل ما عليه أن يجلس على الضفة آملاً فى صيد ثمين. وعندما تم اكتشاف إحدى الومضات المرشحة لأن تكون بسبب النيوترينو، تم تسجيل المعلومات الممكنة عنها على الكمبيوتر، وتم تحليلها بعناية. وعندما قام الفريق باختبار كل شىء أصبحوا على يقين من أنهم شاهدوا لتوهم ومضة تَسَبب فيها نيوترينو. ولعل هذه المرحلة من التجربة تشبه الخطوات التى يقوم بها رجل المباحث لحل لغز جريمة قتل؛ إذ يقوم باستمرار بحذف عدد من المشتبه فيهم، خطوة خطوة، حتى يبقى واحد فقط، يعرف ساعتها أنه قد توصل إلى الجانى؛ وبالطريقة نفسها، عندما يكون النيوترينو المُسَبِّب الوحيد لومضة الضوء التى سجلها الكاشف، فسنسمح لأنفسنا بأن نقول إننا كشفنا نيوترينو بالفعل. ورضى فريدريك وزملاؤه ــ أخيرًا ــ عن عملهم..

وقد أمكنهم فى حقيقة الأمر الكشف عن حوالى ثلاثة نيوترينات كل ساعة فى معملهم تحت الأرض.

هل للنيوترينات كتلة؟

إذا استدعينا علم الكونيات على الساحة، فسيصبح أمر إثبات وجود النيوترينات مجرد خطوة أولى؛ لأن معرفة أنها تنتج خلال تفاعلات نووية من صنع الإنسان على الأرض لا تبرهن على أنها تنتج بطريقة طبيعية فى التفاعلات النووية بالنجوم، أو أنها كانت من نواتج الانفجار العظيم. ورغم أن اكتشاف وجودها كناتج من نواتج التفاعلات النووية على الأرض يجعل وجودها فى الكون أكثر احتمالاً، إلا أنه فى حالة الكشف عنها كجسيمات قادمة من الفضاء سيعطيها أهمية بالنسبة لعلم الكونيات، وإذا ثبت ـ أيضًا ـ أن لها كتلة، مهما بلغت ضآلتها، فستكون بالتالى مرشحة لأن تُشكل جزءًا من المادة المظلمة فى الكون.

لم يتمكن فريدريك رينز من معرفة أى شىء عن كتلة النيوترينو؛ لكنه استطاع أن يؤكد وجودها فى الطبيعة أثناء تطور الكون، وقد احتاج ذلك الأمر منه لمغامرات متهورة كى يصل لإثبات ذلك؛ إذ كان لزامًا عليه أن يحمل الكاشف والدرع الواقى الخاص به لأعمق ما يمكن تحت سطح الأرض، بعيداً بقدر الإمكان عن أية محطات للطاقة النووية أو مواقع لتجارب القنابل الذرية، كما اضطر لاختيار مكان لا يكون به نيوترينات بسبب التركيب الجيولوجى له حتى يتحقق من أن أى كشف لها سيكون بسبب

قدومها من الفضاء الخارجى فقط. وانتهى به الأمر إلى اختيار منجم ذهب بجنوب أفريقيا، وفى عام ١٩٦٥ تم الكشف بالفعل عن شىء ثمين كالذهب: لقد اكتشف فريدريك نيوترينو قادماً للأرض من الأشعة الكونية.

استمر آخرون فى العمل على حل مشكلة تقدير كتلة النيوترينو، وكان هناك مجموعة عمل من شمال فرنسا تأمل فى أن تنجح فى ذلك.. قام "إيف ديكليه" وفريق العمل معه بتجربة أنيقة وعبقرية ــ بمثل قيمة عمل فريدريك رينز ــ فى قلعة تم تجديدها ليقيموا فيها بالقرب من محطة نووية. لقد كانوا وقتها يكملون نصف العمل المتبقى فى المشروع الذى بدءوه فى بلجيكا بالقرب من محطة طاقة نووية هناك، حيث أعادوا بنجاح تجربة رينز للكشف عن النيوترينو، بالإضافة لقياسهم للمسافة بين موقع الكاشف وقلب المفاعل النووى للمحطة بدقة. لقد كان غرضهم من ذلك حساب عدد النيوترينات التى يمكنهم الكشف عنها كل ساعة عند تلك المسافة المحددة من المفاعل النووى، وعندما انتهوا من تسجيل تلك النتائج وإعداد النماذج التى تستخدم فى حساب عملية توقع إنتاج النيوترينات، انتقلوا إلى محطة الطاقة الفرنسية لإعادة التجربة نفسها التى أجروها فى بلجيكا، ولكن فى هذه المرة عند مسافة أبعد من المفاعل النووى، وعند قيامهم بمعايرة الأجهزة وملاحظة أى تغير فى الموقع، بسبب طبيعة المكان وتغير البُعد، أرادوا معرفة إن كان ثمة انخفاض فعلى فى المُعَدَّل الذى يتم به الكشف عن النيوترينات عند تلك المسافة الأبعد عن المفاعل النووى، أم لا. كانت الفكرة أن أى فرق إحصائى ملحوظ فى عدد النيوترينات سيصبح من الممكن عَزْوُه إلى تحلل بعض منها: بمعنى

تحولها إلى أنواع أخرى من الجسيمات مع انطلاق قدر من الطاقة، كأكثر ما يكون شبهًا بما تفعله العناصر المشعة التى تتحلل طبيعيًا. وكى يحدث ذلك التحلل لمادة ما، يلزم أن يكون لها كتلة. لذا، إن ثبت أن النيوترينات تتحلل، فسيعنى ذلك أن لها كتلة؛ ومن ثم تطلب الأمر تجربة أكثر حنكة لتحديد مقدار تلك الكتلة، وعندها – على الأقل – سنعرف أن النيوترينات توجد بشكل طبيعى فى الكون، وبسبب كتلتها سيكون من الممكن أن تعطى تفسيراً لبعض المادة المظلمة فى الكون، إن لم يكن كلها.

فى تلك الأثناء، أسس المُنظِّرون طريقة لاختبار ما يترتب على أن يكون للنيوترينات كتلة، واستخدموا لهذا الغرض تقنية المحاكاة بالحاسبات، التى أيدت من قبل فكرة "فيرا روبين" عن ضرورة وجود مادة مظلمة بالكون لتفسير دوران المجرات. لقد تطورت تلك التقنية مع الزمن أكثر وأكثر، وعلى سبيل المثال، استخدم "كارلوس فرينك"، العالم المكسيكى من أب ألمانى، تلك التقنية لبناء نموذج للكون كله، وقد عكس عمله بحق صورة التعاون الدولى المتنامى بين العلماء الذين يحاولون فهم أسرار الكون؛ وهو الآن أستاذ بجامعة "دورهام" حيث تزوج من طالبة اسكتلندية كانت تدرس الإسبانية عندما كانا معًا فى جامعة "كيمبريدج"!

قام كارلوس ببناء قاعدة بيانات على الحاسب تحوى كل الحقائق التى نعرفها عن الكون – مثل المعدل الحالى لتمدده، وحجم وكتلة المجرات التى تم رصدها، ومسافاتها الحالية عن بعضها البعض، وهكذا. وقد أمده هذا العمل ببعض المعلومات الأساسية لبناء نموذج للكون باستخدام الكمبيوتر، الذى

يمكن تشغيل حساباته فى المستقبل والماضى بالنسبة للزمن، وقد أضاف كارلوس المعادلات التى يجب أن تفسر ديناميكية الكون أثناء إتمامه لبرامج الكمبيوتر، متضمنة معادلات النظرية النسبية العامة لأينشتاين، كما تضمنت البرامج ـ أيضًا ـ الطُّرُق التى يمكن بها التنبؤ بسلوك الجسيمات والطاقة (التى تم التأكد من معظمها فى معجلات الجسيمات)، ثم جعل الكمبيوتر يبنى نموذجًا للكون مؤسَّسًا على البيانات التى برمجها فيه، وبالطبع، إن كان كل شىء فى مكانه الصحيح، فلنا أن نتوقع أن الكمبيوتر سينتج نموذجًا للكون يُشبه الكون الذى نراه اليوم بعد مضى ١٥ مليار سنة منذ الانفجار العظيم..

لقد تضمن نموذجه الأول كمية من المادة كالتى نراها فعليًا فى الكون المرئى، وربما نتوقع أن ذلك لن يعطينا شيئًا يشبه الكون الحالى، حيث لم يتضمن ببساطة ما يكفى من المادة للقيام بالتأثيرات الجذبية اللازمة لنشأة المجرات وتطورها، وهذا ما حدث بالضبط، فقد أظهر الكمبيوتر كونًا من سحب ذات سمك بسيط من المادة منتشرة كضباب غير مستوٍ.

أثبت هذا ضرورة وجود مادة غير مرئية يجب الكشف عنها، وهى التى تؤثر بشكل أساسى على الطريقة التى يعمل بها الكون الحقيقى؛ لذا جهّز كارلوس، وفريق العمل معه، نموذجاً آخر، افترض فيه هذه المرة أن للنيوترينات كتلة، وأنها تُكوِّن المادة المظلمة المفتقدة، وربما توقعنا أننا سنشاهد ـ الآن ـ شيئًا أكثر شبهًا بالكون المعلوم. لقد تم تجميع النموذج بحرص على مدى شهور عديدة كى يصبح جاهزاً للعمل إمعاناً فى التأكد من القيام بكل شىء على الوجه الأكمل، وقد انبهر كارلوس وزملاؤه عندما شاهدوا صورة

نموذج الكون التى صنعوها وهى تتكون شيئًا فشيئًا.. نعم، لقد كان هناك بالفعل مجرات تتكون، ولكن الإثارة خمدت فجأة؛ إذ كان نوع المجرات الناشئة لا يشبه نوع المجرات التى نرصدها بالفعل، لقد بدا أن النيوترينات بمفردها ليست قادرة على إحداث التأثيرات الجذبية التى يمكن أن تبرهن على أنها "كل" المادة المظلمة، وبالتالى يجب أن يكون ثمة شىء آخر: أى جُسيم آخر غريب لم يتم الكشف عنه بعد.

البحث عن "الويمبات"

شرع كارلوس بعد ذلك فى برمجة الكمبيوتر بخصائص الجسيم، الذى إن كان له وجود لأدى لضبط النموذج بحيث يشبه الكون الذى نعرفه، ولم تكن النتيجة التى وصل إليها غير متوقعة على أية حال. فقد تعين ــ بالطبع ــ أن يكون هذا الجسيم أقل سرعة وحرية من النيوترينو، متميزًا بكتلة كبيرة، وتفاعله ضئيل مع الجسيمات الأخرى، إلا أنه فى ذات الوقت ينتج قوة جذب يمكنها أن تمسك المجرات فتجعلها قريبة من بعضها بشكل ما. وسرعان ما أطلق على تلك الجسيمات اسم المادة المظلمة "الباردة"، بمعنى أنها بطيئة غير نشطة، مقارنة بالنيوترينات السريعة، التى تُعرف ــ الآن ــ كمثال للمادة المظلمة "الساخنة". (راجع نتيجة المحاكاة بالصورة رقم ٢٤).

ربما كانت أكثر الأشياء إثارة أن الخصائص التفصيلية لتلك الجسيمات، التى تنبأ بها الكمبيوتر، كانت تنطبق بشكل غريب على جسيم تنبأ به فرع آخر من الفيزياء: ميكانيكا الكمِّ (التى تدرس فيزياء الجسيمات تحت الذرية وتفاعلاتها

اللازمة لبناء الذرة)؛ إذ تبين أن ديناميكية الوحدات البنائية للمادة، التى تنبأت بصحة ميكانيكا الكم، سوف تكون مضبوطة فى حالة وجود جسيم لـم يـتم الكشف عنه بعد، جسيم يشبه تمامًا ذلك الجسيم الذى أشار إليه كمبيوتر علماء الكونيات. وأصبح هناك اهتمام متنام للكشف عن هذا الجسيم، إن كـان لـه وجود.

فى الوقت الذى أطلق فيه علماء الكونيات الاسم المركب "ماكو" ليصفوا بـه أحد أنواع المادة المظلمة، قام أحدهم ببراعة بوصف الجسيمات الجديدة على أنها "ويمبات"(٣٧)، وهى كلمة مركبة تمثل الحروف الأولى للكلمات الإنجليزية التى تعنى (الجسيمات الثقيلة ضعيفة التفاعل)، وكان ضعف تفاعلها مـع أى شىء يعنى أن الكشف عنها سيكون فى منتهى الصعوبة، ومن ثم لن تكـون هناك مناسبات متعددة تظهر فيها تلك الجسيمات بسبب نـدرة تفاعلهـا مـع الأشياء الأخرى، وهـى المشكلة نفسها التى قابلناها عند محاولـة اكتشـاف النيوترينات. وبالتالى لم يكن مستغربًا أن يُستخدم للكشف عن الويمبات جهاز شبيه بالذى استخدمه فريدريك رينز، وكان الموقع الأكثر ملاءمة قاع أحـد المناجم، كما لزم استخدام درع جيد مرة أخرى.

يقع أحد تلك المناجم فى "يوركشاير°" بشمال "إنجلترا"، فهـو عميـق جـدًا، ويستخدم أساسًا لإنتاج مادة "البوتاس". من وجهة النظر الجيولوجية كان هذا المنجم أفضل الأماكن، فهو يضمن عدم وجود أية تأثيرات محلية قد تشـوش

---

(٣٧) "ويمبات" : Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs). (المترجم).

على الكاشف، وعلى هذا قام فريق عمل من جامعة "شيفيلد" بالإعداد لتجربة تحت سطح الأرض بحوالى ١,٦ كيلومترًا، وكما فعل فريدريك رينز وإيف ديكليه من قبل، قبع فريق العمل بصبر فى قاع المنجم فى انتظار اللحظة التى يحدث فيها شيء، إلا أنهم لم يكونوا محظوظين مثل الفريق الذى كان يبحث عن النيوترينو. وحتى الآن لم تظهر أية ويمبات، لا عندهم ولا فى أى مكان آخر فى العالم.

لم يعُق ذلك فريق البحث، فقد كانوا على دراية أن الكشف عن الويمبات ليس سهلاً بسبب ضعف تفاعلاتها. كانت المسألة فى أذهانهم مجرد وقت، وكانوا على يقين أن التعلق بالصبر وزيادة حساسية الكواشف التى يستخدمونها سيمكنهم من التقاط الحدث الذى يبحثون عنه. وقد زاد ذلك الأمر صعوبة، لأنه مع زيادة حساسية الكاشف ترتفع نسبة إصابته بالتلف بسبب تغير الضغط داخل المنجم عند حمله إلى قاعه، وقد فقد فريق "شيفيلد" بالفعل جهازين باهظى الثمن بسبب ذلك.

نال فريق العمل هذا تأييدا من الأرصاد الفلكية الجديدة، إذ قامت الفلكية الأمريكية "ساندرا فابر"، التى تعيش فى "سانْ جوزيه" "بكاليفورنيا"، بالتعاون مع زملائها الذين عُرفوا "بالساموراى السبعة"، بتطوير تقنيات تحليل لطيف ضوء النجوم، وأصبح بمقدور فريق العمل معها الحصول على صورة ثلاثية الأبعاد تبين كيفية تحرك النجوم والمجرات بالنسبة لبعضها، ولم يكن هذا هو الهدف الرئيسى لعملهم فى البداية، إلا أنه قد سمح لهم برسم خريطة ثلاثية

الأبعاد لمعظم الكون، وعندما تم تطوير ذلك إلى نموذج متحرك على الكمبيوتر، ظهرت بعض الحركات المذهلة.

فرغم أن الصورة الكلية كانت لمجرات تتحرك بانتظام مبتعدة عن بعضها البعض، كانت هناك تيارات مضادة من الحركة فى قطاعات كبيرة من الكون، غالبًا ما تضمنت عناقيد كاملة من المجرات. فمثلاً، بدت مجموعة المجرات الثقيلة التى تحوى مجرتنا "درب التبانة" وكأنها تهرول بعنف وبسرعة عالية ناحية مكان ما، أطلقوا عليه اسم "الجاذب العظيم"، وكان هذا يعنى بالتبعية وجود تأثيرات جذبية أكبر فى الكون لا تعتمد بالمرة على الهالة التى حول المجرات، وتم عَزْوُ ذلك للمادة المظلمة التى لها خصائص الويمبات، والتى لها تأثيرات أكبر بكثير مما للماكوات أو النيوترينات.

أظهرت كل تلك المحاولات كيف أن الكثير عن الكون ما يزال غامضًا، وبغض النظر عن قدرتنا على تقصى الحقيقة فى الزمن للوراء حتى لحظة الانفجار العظيم، فإن علماء الكونيات لم يستطيعوا ــ حتى الآن ــ تفسير غموض المادة المظلمة، كما لم يمكنهم التنبؤ بشكل يمكن الوثوق به بالمآل الأخير للكون.. فهل سيتمدد للأبد أم أن معدل التمدد سوف يقل ثم ينعكس فى صورة انسحاق كبير؟ كل ذلك يعتمد على حل غموض المادة المظلمة، وربما ــ أيضًا ــ على اكتشاف بعض الحقائق الأخرى، التى يبدو أن الكون يبتهج بإظهارها!

الفصل العاشر

الحياة العاقلة خارج الأرض والكوازارات المحيرة

ضبط موجة الراديو على محطة الكون

بدأت ـ فى الخمسينيات ـ طريقة جديدة لدراسة الكون فى لفت الأنظار إليها، فقد كانت التلسكوبات الراديوية موجودة بالفعل منذ أوائل الثلاثينات، إلا أن قوة تحليلها ـ أى قدرتها على تمييز الأطوال الموجية للإشارات اللاسلكية القادمة من بعيد ـ قد تحسنت بشكل كبير فى الخمسينيات، حيث بدأت فى التقاط إشارات راديوية متنوعة قادمة من أماكن غير متوقعة فى الفضاء، وصوَّر الوهم لبعض الناس أكثر الاحتمالات شططًا: فبما أننا نرسل إشارات راديوية، فهل من الممكن أن تكون تلك الإشارات القادمة من الفضاء نوعًا من البث اللاسلكى، كالذى نصنعه على الأرض؟ أى هل يمكن أن تكون تلك الإشارات رسائل من كائنات عاقلة؟

لم يكن هذا نوعًا من التحليق فى الخيال كما يبدو للوهلة الأولى، فالحياة العاقلة تطورت بشكل واضح على كوكبنا؛ واحتمال أن تكون الأرض فريدة فى هذا بين الكواكب احتمال ضئيل، وعلى كل، فكوكبنا مجرد واحد من تسعة كواكب تدور حول نجم يدعى الشمس (نجم ضمن ملايين غيره فى مجرتنا، التى هى بدورها مجرة من مليارات المجرات عبر الكون)، ومن بين

مليارات المليارات من النجوم، هل يُعقل أن تكون شمسنا فقط هى الوحيدة التى لها كوكب نشأت عليه حياة عاقلة؟ يبدو أنه من المؤكد - مع وجود العديد من النجوم - أن تكون لبعضها كواكب تدور حولها، تمامًا كشمسنا، وأن بعضًا من هذه الكواكب يمكن أن تكون لديه الظروف المثالية لنشأة حياة عاقلة عليه. ولقد عرفنا منذ زمن بعيد أن شمسنا ليست سوى نجم فى مجرة بموضع ما من الكون، لا يُميزه شيء، فلماذا لا توجد أجزاء أخرى من الكون نشأت فيها حياة على كوكب آخر يماثل كوكبنا؟ (راجع الصورة رقم ٢٥).

أُخِذَت فكرة احتمال وجود بعض الكائنات العاقلة، التى تحاول التخاطب معنا من مكان ما فى الكون، مأخذ الجد لدرجة كانت كافية لأن تخضع للفحص العلمى، فتم تأسيس معهد (البحث عن الكائنات العاقلة خارج الأرض: سيتى[٣٨])، وموَّلَته الحكومة الأمريكية جزئيًا فى بادئ الأمر، حيث اعتمد البحث فى ذلك المعهد على تحليل إشارات الراديو القادمة من أجزاء مختلفة من الكون لمعرفة إن كان لأى منها نمط يدل على كونها منتجة عن عمد، أم أنها مجرد إشعاعات عشوائية تأتى من مصادر موجودة فى الطبيعة؟ ومازال هذا العمل يجرى إلى يومنا هذا.. وعلى الرغم من التطورات التقنية التى يتم بها تجميع وتحليل تلك الإشارات، إلا أن النتائج كانت مُحبطة، ولم تحقق أى نجاح. وفى النهاية، فقدت الحكومة الأمريكية الثقة وسحبت التمويل، إلا أن معهد "سيتى" مازال يعمل لليوم بفضل أموال شركات صناعة الكمبيوتر. ومع هذا، فقد أكد هذا المعهد شيئًا له أهميته بالنسبة للعلم، فقد ظهر أن هناك عدداً

---

(٣٨) "سيتى" : Search for ExtraTerrestrial Intelligence (SETI) . (المترجم).

هائلاً من الإشارات اللاسلكية قادمة من ظواهر طبيعية، وليس من مُرسل راديوى فى حضارة ما بالكون!

غموض الكوازَارَات

منذ اللحظة، التى كشفت فيها التلسكوبات الراديوية تلك الإشارات، كان من الطبيعى أن يُحَوِّل الفلكيون تلسكوباتهم الضوئية نحو الأماكن التى التقطت منها إشارات راديوية قوية. وبمجرد تحليل الضوء، كانوا يشاهدون عادة ظواهر مثيرة تفسر وجود هذه الموجات الراديوية، ولكنها لم تكن غير متوقعة تمامًا.. لقد تأكدت بالفعل مسألة أن قُوى الجاذبية تُقرِّب ـ أحياناً ـ المسافات بين النجوم، وأحيانًا بين مجرات بأسرها، لدرجة اختلاطها ببعض لتكون نظامًا واحدًا، مع حدوث ارتطام عنيف عادةً. وحين استخدمت التلسكوبات الضوئية للنظر إلى الأماكن، التى تم التقاط إشارات راديوية منها، غالبًا ما كانت تظهر مجرتان فى حالة تصادم ينتج عنه تفاعلات نووية شرسة، وبالتالى تنبعث موجات راديوية. لكن لم تكن كل مصادر موجات الراديو على هذا النحو، بل لقد بدا بعضها فى الحقيقة أقل إثارة عند النظرة الأولى، وكانت تلك المناطق بالذات الأصعب تفسيراً.

لقد كان لغزاً حقيقيًا للفلكيين، فقد بدا فى أول الأمر أن كل ما رأوه فى المنطقة ذات الإشعاع الراديوى النشط مجرد نجم عادى لا يختلف من حيث الحجم عن النجوم القريبة، التى كان لها ظاهريًا درجة اللمعان نفسها تقريبًا.

إذاً، لماذا يأتى كل هذا الإشعاع الراديوى من مجرد نجم واحد رغم عدم وجود دليل على حدوث تصادمات كونية تفسره؟

ازداد الأمر غموضًا عندما تم تحليل الضوء القادم من تلك النجوم إلى أطيافه، بالطرق المعتادة، للتعرف على التركيب الكيميائى للنجم باستخدام خطوط فراونهوفر، وبالطرق المعتادة أيضًا تم التعرف على سرعته واتجاه حركته من مقدار إزاحة تلك الخطوط نحو الأحمر أو الأزرق؛ إذ لم تظهر من النظرة الأولى أنماط خطوط فراونهوفر المعتادة مُزاحة نحو أى من طرفى الطيف. تحير الجميع من ذلك النجم، الذى كان يشع موجات راديوية بدون سبب واضح، وفى الوقت نفسه ليس له التركيب الكيميائى المعروف الذى اكتشف للنجوم الأخرى. لكن، أيًا ما تكون الغرابة والشذوذ اللذان صنعا هذا النجم، فقد أبى الجميع إلا أن يسموه بذلك الاسم العلمى غير المميز الذى لا يثير الخيال، أى الاسم المشفر الذى يُعطَى لكل النجوم، وفى حالتنا هذه، أطلق عليه ٣ سى٢٧٣(٣٩).

كان "مآرتينْ شميدْ"، الأمريكى الهولندى الأصل، أول شخص يدرك الأمر على حقيقته؛ إذ تبين له عام ١٩٦٣ أن كيمياء ٣سى٢٧٣ لم تكن مختلفة عن كيمياء النجوم والمجرات الأخرى. وبعيداً عن استعادة ٣سى٢٧٣ إلى حقل الفلك والكونيات، كان اكتشافه مثيرًا للدهشة أكثر من فكرة الحضارات الغريبة بمناطق أخرى فى الكون. لقد تعرف شميد على خطوط فراونهوفر

(٣٩) تم إعطاء النجم هذا الرقم وفق كتالوج النجوم. (المترجم).

التقليدية، إلا أنها كانت مزاحة تجاه اللون الأحمر بمقدار كبير لدرجة أنها كانت تقريبًا خارج النهاية الحمراء لطيف الضوء المرئى، وفى اتجاه طيف الأشعة تحت الحمراء.

كان هذا يعنى أن ٣سى٢٧٣، أياً ما كانت طبيعته، يندفع مبتعداً عنا بسرعة خرافية تصل إلى ٤٧٤٠٠ كيلومتر فى الثانية — أى سُدس سرعة الضوء تقريبًا — ولا يوجد فى لغة الفلك شيء ينطلق بسرعة أكبر من ذلك إلا الضوء نفسه، وبالتالى فإنه يبعُد عنا الآن مليارات من السنوات الضوئية. ترتب على ذلك نتائج غير تقليدية، فنحن إذن نرى أقدم ظواهر الكون، التى أمكن رصدها بالتلسكوب، وهو شيء بعيد جدًا، ومع ذلك له لمعان النجوم القريبة، الأمر الذى يعنى احتواءه على كم هائل من الطاقة، التى تشع حرارة كثيفة وإشعاعًا ضوئيًا، وإلا فكيف يصل إلينا ضوؤه ليبدو بمثل لمعان نجم يبعد عنا بمسافة أقل بكثير من مسافة هذا النجم المحير؟ لذا، فكائنًا ما كان ذلك الشيء، فهو بعيد وقديم بشكل متميز، وذو لمعان وطاقة هائلين. وللدهشة، كانت كل الحسابات التى تعطى تلك الخصائص تعنى جسمًا صغيراً قويًا، لقد تسبب ذلك فى إرباك الفلكيين تماماً؛ لأن ٣سى٢٧٣، والعديد من الأجسام على شاكلته، التى تم اكتشافها بعده مباشرة، لها مظهر النجوم، وبالتالى أطلقوا عليها اسم: "أشباه النجوم"[٤٠]، التى اكتسبت بعد ذلك الاسم الشائع "الكوازار".

---

(٤٠) من الألفاظ الإنجليزية : Quasi - Stellar Objects (QUASAR). (المترجم).

الكوازارات والثقوب السوداء

حمل غموض الكوازارات الفلكيين وعلماء الكونيات على التفكير، فهل تحمل نظريات، كالنسبية العامة، فى طياتها مفاتيح عن ماهية الكوازارات؟ وعن كيفية انسجامها مع الصورة الكلية لتطور الكون؟ وهل ثمة مفهوم جديد فى علم الكون سيدفعنا لتغيير تصورنا عن الكون بالطريقة الثورية نفسها التى غير بها نيوتن نموذج بطلميوس؛ أو كما حدث مرة أخرى عندما غيرت نظرية الانفجار العظيم، بشكل ثورى، أفكار نيوتن؟ لقد أدى اكتشاف الكوازارات لعقد أول مؤتمر بهدف جمع الطاقات العلمية ذات المستوى الرفيع فى المجال، حيث التقى أفضل الراصدين الفلكيين والتجريبيين فى العالم مع أعظم المنظرين، وعقد المؤتمر فى "تكساس" عام ١٩٦٣؛ لذا أُطلق عليه بالطبع "مؤتمر تكساس الأول"، والطريف أن اللقاءات التى تلت ذلك المؤتمر سُميت بمؤتمرات تكساس الثانية والثالثة..وهكذا، بغض النظر أعُقدت بتكساس أم لا!

ركزت أكبر المناظرات بين المنظِّرين فى وقت انعقاد مؤتمر تكساس الأول على شكل ومضمون رياضيات أينشتاين، التى تبين أنها تتنبأ بالظروف الطبيعية التى تؤدى إلى انهيار المادة على نفسها (المعادلات التى عمل على تطويرها "روجر بنروز"، ثم "ستيفين هوكينج" لاحقاً فى نظرياتهما عن المفردة، والتى ذكرناها فى الباب الخامس). قبل ذلك بسنوات، أثار الفيزيائى الأمريكى "روبرتْ أوبنهايمر" زوبعة عندما تساءل عن السبيل الذى صاغ به

أينشتاين معادلاته لوصف انهيار المادة نظرياً، إلا أن أينشتاين وأوبنهايمر لم يناقشا أبداً أفكار الأخير لأسباب عديدة. أهمها، أن أوبنهايمر كان منشغلاً عن الفيزياء النظرية بالعمل فى مشروع القنبلة الذرية الأمريكية (بلوسْ آلاموسْ)، وحتى بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية، ظل منشغلاً بالقنبلة الذرية، حيث أبقت الحرب الباردة للمشروع استمراره؛ لذا لم يحظ أوبنهايمر بفرصة لعرض فكرته على أينشتاين، الذى تُوفِّى فى برينستونْ عام ١٩٥٥.

لأسباب متعددة، كانت اعتراضات أوبنهايمر على رياضيات أينشتاين أشبه ما تكون بتلك التى أثارها "لوميتر" ضد استخدام أينشتاين للثابت الكونى، الذى وضعه ليعاكس تمدد الكون الذى تتنبأ به معادلاته. وقد سبق لأينشتاين الاعتراف بأن رياضياته تتضمن انهيارًا للمادة نحو نقطة واحدة كثيفة فى ظل ظروف خاصة، إلا أنه لسبب ما رفض تصديق إمكانية حدوث ذلك فى الحقيقة؛ لذلك أشار إلى أن المادة، عند الكثافة الحرجة التى تنشأ من انضغاطها إلى أقصى كثافة ممكنة، ستقاوم الجذب الداخلى الذى يؤدى لانهيارها، وبالتالى سيتوقف انهيار المادة على نفسها. وألح أوبنهايمر على ضرورة التخلى عن القيود النظرية، التى وضعها أينشتاين، وأنه يجب دراسة الانهيار دون قيود. ويبدو أن أوبنهايمر أراد أن يقول، إن أينشتاين قد قام مرة أخرى بوضع قيد غير ضرورى على معادلاته (كما فعل من قبل حين وضع الثابت الكونى ليَحُدّ من تمدد الكون). لكن، بما أن أينشتاين وأوبنهايمر لم تتح لهما أبداً مناقشة المسألة بشكل أعمق، فلنا أن نعتقد بأن أينشتاين كان من الممكن أن يعترف مرة أخرى بخطئه، كما حدث مع لوميتر من قبل.

فى عام ١٩٦٣، كان المنظرون المتوجهون إلى مؤتمر تكساس يعلمون أن أوبنهايمر سيكون هناك، وكانوا ــ بالطبع ــ يتطلعون لمعرفة إن كان ثمة سبيل لمناقشة أفكاره وأخذها فى الاعتبار أم لا؟ وقد كانت هناك أسباب أخرى، بالإضافة إلى تحرى صحة ما ذهب إليه أينشتاين فى مقابل جدوى عمل أوبنهايمر؛ إذ كان من المعلوم عن الكوازارات، التى سببت الدعوة للمؤتمر، تضمنها لمستويات غير عادية وهائلة من الطاقة، وكانت الرياضيات التى يبحث عنها أوبنهايمر تتضمن ــ أيضًا ــ طاقة هائلة، وبالتالى فمن الطبيعى ملاحظة احتمال وجود ارتباط بين معادلات أينشتاين وقوة الكوازارات، ولربما كان من الممكن أن يوسع أوبنهايمر عمله المبدئى ليؤدى، بطريقة ما، إلى تفسير معقول للكوازارات.

لسوء الحظ، ظل أوبنهايمر بمعزل عن أضواء مؤتمر تكساس، ربما كان أحد الأسباب لذلك شعوره بالإحباط العميق، ورغبته فى التحرر من خداع السياسات التى وجد نفسه متورطًا فيها نتيجة لمشروع القنبلة الذرية؛ إذ بلغت حساسية الأمريكيين ضد الشيوعية ذُرَاها فى أوائل الخمسينيات؛ وكان أحد مظاهرها الكريهة مطاردة السيناتور "مكارثى" للشخصيات العامة المشكوك فى تعاطفها مع الشيوعية، ووجد أوبنهايمر نفسه غارقاً فى هذا كله، وواجه خطرًا لأنه عارض بناء القنبلة الهيدروجينية، ويقال إنه شعر أن مساهمته فى برنامج الدفاع الأمريكى لم يتم تقديرها بالتبعية؛ ونتيجة لذلك، خشىَ أن يؤيد أى شىء آخر مثير للجدل، حتى لو كان أكاديميًا بعيداً عن السياسة.

فريق القنبلة الذرية

كان هناك آخرون بمؤتمر تكساس أقل تحفظًا، منهم "جونْ ويلر°"، المُحاضــر المحبوب فى برينستونْ، الذى كان يعمل بإحدى مراحل مشروع القنبلة، وقد عُرِف عنه مواجهة التحديات المثبطة للهمم، واتباعه أساليب غيــر تقليديــة، حيث قام بإقناع العلماء بأن التعرف على الغموض النظرى لانهيار المــادة، الذى تنبأ به أينشتاين، قد يلقى الضوء على غموض الكوازارات، وألهم ذلك عدداً من علماء الكونيات الشباب الذين حضروا المؤتمر (منهم "دينيس شاما" وروجر بنروز، اللذان كان لهما تأثير على ستيفين هوكينج ــ الذى لم يكــن حاضراً بالمؤتمر)، كما حضر المؤتمر ــ أيضًا ــ "كيبْ ثورن°"، تلميذ ويلرْ، الذى عمل فى ذلك الموضوع لاحقًا، مثل ستيفين، وعقد معه رهانًا شــهيرًا. وقد قُدِّر لهم جميعًا أن يصبحوا منظرين أكاديميين قدموا إســهامات رائعــة للرياضيات فى وقت لاحق، إلا أن العمل المبــدئى تــم بواســطة آخــرين. وللسخرية، كان للعديد منهم خلفية أوبنهايمر نفسها؛ إذ كانوا فيزيائيين عاملين بمشروع القنبلة الذرية.

تمثل الأمر المُلح فى محاولة التوصل إلى دليل على أن المادة يمكن فعلاً أن تنهار بالطريقة نفسها التى تقترحها بعض معادلات أينشــتاين؛ إذ لــو كــان انهيار المادة الذى تنبأت به يمكن حدوثه نظريًا فقط ــ كما يعتقد العديد مــن العلماء ــ فمن الواضح أنه لن يكون ذا وجود حقيقى فى الكون، ومن ثم لن يكون له صلة بطبيعة الكوازارات. لذا، أصبح الواجب الأول على العلمــاء

القيام بفحص حسابات أينشتاين لمعرفة إن كانت متوافقة ومتسقة مع المعلومات التى نعرفها عن سلوك المادة عند مستويات الطاقة العالية جدًا، أم لا. وتطلب هذا معرفة واضحة عن حسابات الأرقام الكبيرة وفيزياء الطاقات العالية، ولهذا السبب التمس ويلر وزملاؤه مساعدة الفيزيائيين الذين عملوا بمشروع القنبلة الذرية.

كان لأولئك العلماء ميزتان أساسيتان: أولاهما، أنهم مهرة فى استخدام أجهزة الكمبيوتر العملاقة التى مولتها الحكومة الأمريكية للقيام بحسابات الرياضيات التفصيلية للانفجارات النووية، وقد كانت أجهزة الكمبيوتر تلك أساسية من أجل معرفة كيفية بناء القنبلة، وفى تلك الأيام كانت المشروعات الحكومية – ذات الأولوية القصوى – هى فقط التى يمكنها استخدام مثل تلك الأجهزة، كما أنه بخمود الحرب الباردة واكتمال العمل على القنبلة لم تعد أجهزة الكمبيوتر مشغولة كما كانت من قبل. وثانيتهما، أن أولئك الفيزيائيين قد اكتسبوا بالفعل معرفة متخصصة معقولة عن طبيعة الانفجارات عالية الطاقة، أى تلك النوعية من الظواهر التى يجب أن توجد فى قلب الكوازارات وأيضًا فى عملية انهيار المادة التى تنبأت بها معادلات أينشتاين.. لقد كانت مناسبة ومصادفة طيبة أن تلتقى أحدث التقنيات فى ذلك العصر مع خبرة الأساتذة للقيام بالحسابات المطولة والمعقدة المتضمنة فى الموضوع، وبهذا وجد الفيزيائيون العاملون بمعامل وزارة الدفاع أنفسهم يحولون جهودهم نحو علم الكونيات، وكانت الآمال عريضة فى حل غموض الكوازارات بأسرع مما كان يُظن من قبل.

الاقتراب من الثقوب السوداء

تمثل التحدى الذى طرح نفسه فى معرفة إن كان ثمة ظروف يمكن فيها لنجم كبير أن ينهار بطريقة غير تلك التى ينفجر بها المستعر العظيم (السوبرنوفا)؛ إذ لو كان النجم كبيراً بما فيه الكفاية، فهل ــ يا تُرى ــ سيحوى تلك القوى الضخمة من الجاذبية التى لا يستطيع أى شىء الهروب منها؟ وهل سيتم، بالتالى، انسحاق كل مادة النجم ــ وأيضًا طاقته ــ فى نقطة مفردة تزداد كثافتها مع الوقت؟ إن كان الأمر كذلك، فسيكون بالضبط ما توقعته معادلات أينشتاين: مكاناً ضخمًا فى الكون، لا يمكن تخيله، يبتلع كل المادة التى حوله، ولا يدع أى شىء يهرب منه ليدل على وجوده، ولا حتى الضوء نفسه. وقد اختار جون ويلر أن يسمى مثل هذا المكان المدمر المشئوم باسم (الثقب الأسود)، وظل هذا الاسم ــ بعد ذلك ــ لصيقاً بتلك الحالة الفيزيائية العجيبة.

كانت حسابات إثبات وجود الثقب الأسود طويلة ومعقدة بدرجة غير معقولة، حتى بالنسبة لأجهزة الكمبيوتر الضخمة التى استخدموها، وفى أوائل الستينيات كانت أجهزة الكمبيوتر تلك ماكينات بدائية نسبيًا، تنقصها السرعة وصغر الحجم الذى نشاهده اليوم فى المشغلات الإلكترونية لأجهزة الكمبيوتر الحديثة، وكان من الضرورى أن يتم، بجهد كبير، تغذية أجهزة الكمبيوتر بكميات هائلة من البيانات الضرورية ــ مثل معادلات الموجات الانفجارية والإشعاع والتفاعلات النووية.. إلخ ــ على شرائط مثقبة، ومع ذلك، فقد

ظهرت الإجابة فى النهاية، وتم إرسالها إلى جونْ ويلرْ فى برينستونْ. (راجع الصورة رقم ٢٦).

لقد كان جون ويلر بالنسبة لتلاميذه مدرساً موهوبًا، لا يتورع عن استخدام طرق درامية لتشجيع طلابه فى الفصل الذى يقوم بتدريسه، وقد اعتاد أن يشعل لعبة نارية ابتهاجًا عندما يتوصل أحد طلابه لفكرة ثورية جديدة.. لقد كانت طاقته وحماسه لموضوعه أسطورة من الأساطير. وقد دخل إلى فصله فى ذلك الصباح مُثارًا بشكل لم يحدث من قبل؛ إذ كانت الأخبار قد وصلته لتَوِّها، وصاح قائلاً: "لقد تم إثباتها، الثقوب السوداء ممكنة الوجود بالفعل"، وقام على الفور بإشعال لعبتين ناريتين احتفالاً بذلك.

مع هذا، فلا يُعَد ذلك تقريراً لحقيقة وجود الثقوب السوداء فى الكون.. كل ما هنالك أن ديناميكية التفاعلات النووية المعلومة تسمح نظريًا بأن يكون انهيار المادة إلى ثقب أسود أمرًا يمكن حدوثه فى الحقيقة. يعنى هذا ضمنيًا إمكان وجود جرم سماوى له كتلة تكفى لجعله ينهار باستمرار على نفسه ـــ يومًا ما ـــ بواسطة الجاذبية، بحيث يتحول لشىء متزايد الكثافة. ولقد بدت بعض النجوم كبيرة بما يكفى لحدوث هذا، كما أن هناك بالتأكيد مجرات بأسرها، تم رصدها فى السماء، يمكن ـــ نظريًا ـــ أن تنتهى إلى مثل ذلك الانهيار، ومع هذا يظل كل ذلك غير كافٍ لإثبات انهيارها فعليًا، أو أن الأجسام المماثلة لها فى الكتلة والحجم قد انهارت بالفعل. لقد تطلب الأمر نوعًا من الرصد قبل تقرير إمكانية وجود الثقوب السوداء فى الحقيقة، إلا أنه ـــ على الأقل ـــ قد تم إيضاح أن مثل هذه الظاهرة الغريبة ممكنة الحدوث، وأكثر من ذلك، لربما

دعم هذا أحد المبادئ المهمة لعلماء الكونيات: أن عليهم من الآن فصاعداً أن يتقبلوا تنبؤات الرياضيات مهما كانت غرابتها.

وجد أينشتاين أن معادلاته تشير لاحتمالات مدهشة مرتين: تمدد الكون، وانهيار المادة إلى نقطة لانهائية الكثافة. وبغض النظر عن قناعته باستحالة ذلك، وتصوره أن الحسابات ربما كانت غير مكتملة بعد، فإن الدليل قد ظهر ليؤكد أنه كان عليه الوثوق برياضياته كما دونها أول مرة، فقد تم إثبات إحدى نبوءاته العجيبة ـ وهى تمدد الكون ـ بالرصد الذى أجراه هابل، ليصبح حقيقة ماثلة، والتنبؤ الآخر تم ـ الآن ـ إيضاح اتفاقه مع قوانين الفيزياء، التى تم اختبارها وتمحيصها بمعزل عن نظرياته، وقد اعترف أينشتاين بخطئه حين أضاف الثابت الكونى لمعادلاته عندما شرح لوميتر فكرة الذرة البدائية، ولا يعلم أحد رد فعله لو أنه كان قد سمع الأخبار عن إمكانية وجود الثقوب السوداء فى الحقيقة؛ إذ ربما كان سيعترف بارتكابه خطأ ثانيًا لا ضرورة له عندما ظن أنه يُحَسِّن نظرياته! على كل، فهذا لم يعد مهمًا. وما يهمنا ـ الآن ـ هو أن علماء الكونيات قد أدركوا أن عليهم مقاومة شكوكهم مستقبلاً فى التوقعات الغريبة المبنية على الرياضيات.

لكن، كيف لكل هذا أن يفسر غموض الكوازارات؟ فإذا لم يكن ممكنًا لأحد أن يكتشف الثقوب السوداء (التى تبلع كل شىء يمكن أن يخبرنا عن وجودها)، فيبدو ـ خلافًا لذلك ـ أن الصلة الحقيقية بين الثقوب السوداء والكوازارات لا يمكن أن توجد، وأصبح العبء على المنظرين أن يقوموا بشيئين: الأول، صياغة ما يمكننا توقع رؤيته كنتيجة لوجود الثقوب السوداء، حتى ولو لم

نرها بذاتها، الأمر الذى سيعطى الراصدين طريقة يمكن استخدامها فى البحث عنها. والثانى، أن عليهم وضع تصور للعلاقة بين الكوازارات والثقوب السوداء بحيث يمكن ساعتها البحث عنها بالتلسكوبات التى تفحص أعماق الكون. وإذا لم تظهر أية أفكار ذات قيمة فى المستقبل القريب، فإن حقيقة وجود الكوازارات يمكن أن تظل مراوغة بمثل مراوغة علامات وجود الحياة العاقلة بمكان ما بالكون الكبير.. لقد أبرز لنا الفلك الراديوى موضوعات محيرة سوف يكون من الصعب التحقق منها أو حلها.

الفصل الحادى عشر

على درب البحث عن الثقوب السوداء

مع كل ما نالته الثقوب السوداء من اهتمام بعد مؤتمر تكساس الأول، بـدأت فى الظهور فى كتابات الخيال العلمى. والثقب الأسود عبارة عن شيء ما ذى طاقة ضخمة، يلتهم بشراسة كل ما حوله، فيدمر النجوم، وأحياناً مجـرات بأسرها، وهو كامن لا يُرى. ويُعَد بحق أفضل من أى سيناريو خيالى، لدرجة أن أكثر الكُتّاب جموحًا لا يمكنه صياغة شيء مثله.

على أية حال، كان من الطبيعى أن يلتقط الخيال العلمى أفكاراً من الحقـائق العلمية، وقد اكتسبت بالفعل عدة قصص من الخيال العلمـى قبـولاً بسـبب احترامها لمكتشفات العلم الحقيقى، بل إن العديد من أفضـل كتـاب الخيـال العلمى علماء فى الأصل. كما أن الحقائق العلمية تقوم أيضًا بتغذية الخيـال العلمى؛ ولربما يكون الخيال العلمى له أهمية العلم فى دعم الحقائق العلميـة، ومن المؤكد أن الخيال العلمى فى الستينيات ساهم ـ أحياناً ـ فى مـؤازرة الاهتمام بالثقوب السوداء.

تخيل المستحيل

تلقى العلم بعد مؤتمر تكساس الأول ضربة كادت أن تؤدى إلى التخلى الكامل عن البحث عن الثقوب السوداء. لقد كـان "روجـر بنـروز" يعمـل علـى

الرياضيات الخاصة بانهيار المادة على نفسها تحت تأثير قوى الجاذبية الشديدة جدًا، مستخدمًا نظريات الطوبوغرافيا (وهى فرع من الرياضيات يدرس خصائص الأشكال والعلاقات بينها، هندسيًا)، ويبدو أن بنروز كان لديه استعداد خاص لتصور كيفية تأثير الأشكال على بعضها (راجع الصورة رقم ٢٧)، ويُقال — بحق — إن أفكاره قد ألهمت الفنان "إم.إس.إيشر" ليرسم لوحته "مسقط المياه"، تلك اللوحة المحيرة التى تُظهر إنشاءات مقبولة من الناحية الشكلية، ولكنها مستحيلة الوجود فى العالم الحقيقى. (راجع الرسم رقم ٢٨).

إذ توضح اللوحة مياهًا منهمرة من علٍ بشكل مستمر، وفى الوقت ذاته تتحرك فى دائرة مسطحة لتعود من حيث بدأت، وهذا مستحيل بالطبع إلا إذا ارتفعت المياه لأعلى عند نقطة ما فى مسارها. وبالطبع، من المستحيل فى العالم الحقيقى الاحتفاظ بالصعود من نقطة بداية عند سطح معين، ثم العودة لنفس نقطة البداية دون الهبوط مرة أخرى لنفس المستوى، وبالعكس.

لهذه اللوحة الشهيرة ارتباط بموضوعنا، من حيث إنها توضح واقعة مستحيلة من الناحية النظرية كما لو كانت تحدث فى الواقع، ويمكن التعبير عن التناقض الذى تثيره اللوحة بالحيرة التى تصيب المشاهد البسيط فتجعله يتساءل: هل الحدث حقيقى والنظرية خطأ؟ أم أن النظرية صحيحة والحدث غير حقيقى؟

لقد قدم روجر بنروز شيئاً مماثلاً فى الفيزياء، مستخدمًا نوعية الرياضيات نفسها التى ألهمت إيشر ليرسم لوحته؛ إذ أوضح أن انهيار المادة للداخل، الذى تنبأت به معادلات أينشتاين، لم يكن فقط ممكنًا من الناحية النظرية، بل إن حدوث الانهيار يُعد نتيجة حتمية لرياضيات أينشتاين، فالانهيار لا بد أن يحدث لينتهى الأمر بتحطيم المادة الموجودة كلها عند نقطة لا نهائية الكثافة، أطلق عليها اسم "المفردة"، وبات واضحًا أن قوانين الفيزياء الأساسية لا تنطبق عند تلك النقطة.. ولم تسمح الرياضيات بأى بديل آخر.

بدا هذا غامضًا وغير منطقى بعض الشىء؛ إذ طلب بنروز من الفيزيائيين قبول أن القواعد الفيزيائية اللازمة لفهم المادة وطبيعة الكون، التى لا تأخذ فى اعتبارها تلك النقط الشاذة، تحطم نفسها، وبالتالى صلاحيتها. فالنظرية تستنتج وجود نقطة لا تنطبق عندها النظرية ذاتها! وإذا كانت تلك النقطة "المفردة" المحيرة هى النتيجة الحتمية للثقب الأسود، فهل من الممكن أن يوجد الثقب الأسود فى الواقع؟ أم أنه سيظل فقط ابنًا للنظرية ويستحيل ظهوره بشكل مقنع؛ تمامًا كلوحة إيشر التى تبدو مقبولة فى البداية، ثم تتحول لاستحالة فى العالم الحقيقى؟

أوضح ستيفين هوكينج عقب ذلك أن الصورة التى رسمها بنروز للانهيار والتحول لنقطة شاذة، يمكن عكسها فى الزمن، أى أنه بدلاً من انهيار شىء ضخم إلى تلك النقطة الشاذة "المفردة"، فمن الممكن تمدد مفردة لأكبر شىء ممكن: الكون ذاته، بحيث يكبُر بسرعة متمدداً من المفردة عند اللحظة الأولى للانفجار العظيم. وبطريقة ما، فإن هذه الرؤية زادت الأمر تعقيدًا بالنسبة

للفيزياء. على أية حال، أوضح ستيفين أن الكون كله بدأ من مثل تلك النقطة الشاذة ثم تطور وَفْقًا لقوانين الفيزياء المعروفة بـدءًا مـن الثانيـة الأولـى للانفجار العظيم، وإلى اليوم، أى بعد ١٥ مليار سنة. أما عند نقطة المفـردة ذاتها، فلا تنطبق قوانين الفيزياء. فكيف إذن يخضع الكـون فـى وجـوده لنواميس معينة لا تخضع لها بدايته الأولى فى الأجزاء الأولى مـن الثانيـة الأولى فى عمره؟ فى الحقيقة، لم يتوصل أحد لإجابة مقبولة عن هذا السؤال إلى يومنا هذا، وظلت المفردة تمثل غموضًا كبيراً.

رحلة إلى مركز ثقب أسود

رغم أن الأبحاث النظرية قد عملت على تقويض مصداقية الثقوب السـوداء، إلا أن إرادة البحث عنها بقيت حية، ولربما ساعدت الصور التخيلية، التـى رسمتها روايات الخيال العلمى فى ذلك، حيث أراد الناس معرفة كل شـىء عن الثقوب السوداء. وتساءلوا إلى أى مدى يمكن للمرء أن يقترب منها؟ وما الذى يحدث لو سقط فى أحدها؟ وظهرت بالفعل أوصاف خيالية رائعة تعتمد على النظرية العلمية لوصف ما يحدث عند السقوط فى ثقب أسود، وما الذى سيبدو الأمر عليه عند حافته. ويستخدم ستيفين هوكينج فى ذلك مجازاً خاصاً به، ويشاركه فيه العديد من العلماء، حيث يقول إن أى شخص يسقط فى ثقب أسود سيُمَط فى الحال، كالمكرونة الإسباجتى، ولن يشغل باله ساعتها بطبيعة المفردة التى اندفع إليها بقوة!

فى ظل هذه التخمينات تساءل الناس أيضًا، هل توجد تلك الثقوب السوداء المدمرة بحق؟ إذا رجعنا للروايات العلمية المؤسسة على النظريات العلمية، فلن يتمكن من يسقط فى الثقب الأسود من الهروب منه، ومع ذلك، فعند الحافة الخارجية للثقب الأسود تتصارع الحياة مع الموت، ويمكن تشبيه ذلك بالانجراف نحو منحدرات النهر الخطيرة، حيث يسحب التيار الرئيسى كل شيء نحو المنحدر، ومع انسحاق وخلط المزيد من المادة فى هذا التيار، يتقرر مصير كل قطعة منها. فمن الممكن أن يُدفع البعض بعيداً إلى مكان آمن فى الجانب الأكثر هدوءاً، إلا أن معظم المادة سينضم إلى الكتلة الدوارة فى حزمة واحدة لتنجرف وتصطدم مع غيرها من المادة كلما دارت بشدة فى التيار المتنامى السرعة.

بالمثل، عند حافة الثقب الأسود ستنجرف المادة ناحيةالسَحب المركزى لدوّامته، كأشبه ما تكون بقطعة خشب فى تيار مائى يتجه نحو منحدر النهر. كما أن هناك تشبيهًا آخر أكثر دقة، لكن ربما كان أقل إثارة، يتمثل فى شكل فتات المادة على سطح المياه فى حمام سباحة يتم تفريغه فى فتحة الصرف، فكلما تم سحب الفتات نحو المياه الدائرة حول فتحة الصرف، بدأت فى الدوران بسرعة أعلى قبل تمام سقوطها لأسفل فى النهاية. وبالطريقة نفسها ستبدو كميات ضخمة من المادة حول الثقب الأسود؛ إذ سيتم سحبها حوله بسرعات تصل لحد اصطدام بعضها ببعض بطريقة عنيفة لا يمكن تجنبها، مثلها مثل التصادمات التى تحدث فى معجلات الجسيمات، ومن ثم، فإن تلك الانفجارات والاحتكاكات والحرارة التى تسببها اصطدامات المادة ببعضها فى

المدار عند سرعات وزوايا مختلفة، تولد طاقات هائلة يتم إشعاعها إلى الخارج فى الفضاء. وفى مرحلة ما ربما أشع الثقب الأسود ضوءاً كافيًا حتى يبدو كالكوازار.

تصديق المستحيل

فى ظل تلك الصور التى تلهب الخيال، لم تكن أهمية طبيعة المفردة الحقيقية بالنسبة للخيال العلمى بمثل أهميتها لاحتمال قُرب الكشف عن الثقوب السوداء، وبصرف النظر عن تأثير ذلك على الفيزيائيين، إلا أنهم اتفقوا على أن المشاكل النظرية التى أثارتها المفردة يجب ألا توقف البحث عن الثقوب السوداء. يرجع ذلك، لحد ما، إلى أنهم قد بدأوا فى الاعتقاد بأن المفردة يجب أن تُقبل كجزء من الصورة الحقيقية للكون على الرغم من صعوبة فهمها.

ربما كانت أكثر الحجج إقناعًا، أن باقى الأدلة التى تدعم نظرية الانفجار العظيم تجعل حدوثه حتميا، حتى لو نحينا جانبًا ـ لبرهة ـ نظريات ستيفين هوكينج عن المفردة، فإن كان الانفجار العظيم قد وقع بالفعل، فإن المفردة لابد وأن تكون متضمنة فيه وَفْقًا للنظريات التى تتكلم عنها.

نتيجة لذلك، زاد قبول المفردة فى الفيزياء كحقيقة ماثلة، حتى لو بدا ذلك مضاداً للبديهة ولا يمكن تصديقه، وأصبح التحدى المطروح أمام الفيزياء هو الوصول إلى صياغة لطبيعة تلك المفردة.

أيد طريقة التفكير تلك عِلْم يُطلق عليه "ميكانيكا الكم" (ذلك الفرع فى الفيزياء الذى يدرس سلوك الجسيمات والقُوى فى العالم تحت الذرى)، حيث قبل

الفيزيائيون بالفعل فكرة أن طبيعة جسيمات المادة ــ الأكثر صغرًا ــ تثير مشاكل مع قوانين الفيزياء، وبالتالى ربما كان سلوك المفردة، التى هى فى الأصل فى مثل حجم الجسيمات تحت الذرية، يشبه سلوك تلك الجسيمات التى تثير المشاكل مع قوانين الفيزياء[٤١]؛ وعلى كلٍّ، فقد احتضنت ميكانيكا الكم تناقضات يصعب استيعابها مثلما يصعب فهم المفردة.

لقد اكتشف الفيزيائيون بالفعل، فى عالم ميكانيكا الكم، وجود تفاعلات بين حزم صغيرة من الطاقة والجسيمات، ولعلك تذكر كيف تحولت الطاقة إلى جسيمات فى معجلات الجسيمات، وبالعكس، نتيجة للتصادمات، حيث تم تفسير ذلك وقتها باعتبار أن الطاقة عبارة عن جسيمات أيضًا. وأُطلق على أصغر حزمة ممكنة من الطاقة الضوئية اسم "فوتون"، الأمر الذى يسَّر ــ أيضاً ــ شرح سلوكيات الضوء فى مواقف أخرى.

مثال ذلك، أنك عندما تضىء كشافًا يخرج منه ضوء، عبارة عن ملايين الفوتونات، فإذا ما سلطت الضوء على حاجز به فتحتان، سلكت الفوتونات طريقها عبر الفتحتين لينتج بذلك شعاعان من الضوء، يخرج كل منهما من إحدى الفتحتين، ولكن، كيف سيتصرف فوتون واحد، وليس ملايين الفوتونات.. هل سيختار بطريقة ما أن يخرج من إحدى الفتحتين دون

---

(٤١) مثل مشكلة الطاقة الذاتية للإلكترون، التى تساوى ما لانهاية تبعاً لقوانين الفيزياء رغم ضرورة كونها محدودة ومقاسة، وأصل هذه المشكلة أن قوانين الفيزياء تعامل الإلكترون كما لو كان نقطة (بلا أبعاد) فى الفراغ، وليس ككرة تشغل حيزاً محدوداً فى الفراغ. (المراجع).

الأخرى؟ لقد تمت تجربة ذلك بالفعل، وخرجنا بنتيجة محيرة، فرغم وجود فوتون واحد من الضوء، إلا أنه بدا كما لو كان قد مرَّ بالفعل من كلتا الفتحتين، حيث وجدنا "هُدُب التداخل" على الجانب الآخر من الحاجز، تمامًا كما يحدث مع استخدام فوتونين (حيث تتقاطع كل موجة ضوئية خارجة من إحدى الفتحتين مع الأخرى).

يعنى هذا أن الحزمة الصغيرة من الضوء يمكن أن تتصرف كجسيم (فى صورة فوتون، كما يُشاهد فى تجارب المعجلات)، وفى الوقت ذاته تتصرف كموجة تنتشر إشعاعاتها فى كل الاتجاهات. وعندما أُعيدت التجربة باستخدام الإلكترون بدلاً من الفوتون، كانت النتيجة أكثر غرابة؛ إذ حصلنا مرة أخرى على هدب التداخل كما لو كان الإلكترون الوحيد الذى تم استخدامه يتصرف كموجة تعبر من الفتحتين. وهذه "الطبيعة الموجية الجسيمية المزدوجة" مقبولة ــ الآن ــ كأحد مفاهيم ميكانيكا الكم، رغم أن فكرة أن يصبح شىء واحد شيئين تبدو عسيرة الفهم حين نتعامل معها.

هناك ــ أيضًا ــ أفكار أخرى فى الفيزياء مقصورة على ميكانيكا الكم، ربما كان ما يهم علم الكون النظرى منها مبدأ "عدم التحديد"، الذى صاغه الفيزيائى الألمانى "فيرنارْ هايزينبرجْ"، حيث ينص المبدأ على أنه من المستحيل تعيين كل من كمية حركة[٤٢] وموضع جسيم فى الوقت نفسه بدقة، الأمر الذى يعنى أنك لن تكون قادراً أبداً على التأكد مما يجرى من أحداث

---

(٤٢) أى حاصل ضرب كتلته فى سرعته. (المترجم).

عند دراستك للجسيمات فى العالم الميكروسكوبى، فلن تدرك ـ ببساطة ـ كيف يتصرف جسيم ما، ومن ثم سيتعين عليك قبول "عدم التحديد" فى الموقف، بما فى ذلك قبولك لمثِل تلك الأحداث التى تصك السمع، كاختفاء المادة فجأة من الوجود وظهورها فيه فجأة.

ومهما بدا ذلك صعب القبول، إلا أن بإمكاننا تطبيق تلك القوانين الغريبة على شىء بمثل الحجم الضئيل للمفردة: ذلك الشىء ذو الكثافة الهائلة والحجم الأصغر من الذرة. وإذا رجعنا إلى نظرية الكم، تصبح بعض المشكلات فى الفيزياء محلولة: فعند تطبيق نظرية الكم على المفردة، التى كانت فى بداية الكون، وعلى الأخص "مبدأ عدم التحديد" لهايزنبيرج، و"نظرية الكم للمجال الجذبى"، التى اقترحها ستيفين هوكينج، سنجد أنها واحدة من الطرق ـ كما سنرى ـ التى يمكن أن يكون الكون قد بدأ بها.

ورغم أن هذا يُعد طريقًا بعيداً عن تقرير وجود ـ أو عدم وجود ـ الثقوب السوداء، لكنه ربما أسهم فى فهم معضلة المفردة المحيرة، وبالتالى جعل وجود الثقوب السوداء أمراً مقبولاً.

الرِّهان على الثقوب السوداء

أثناء تطور كل تلك الأفكار عن المفردة، انشغل علماء نظريون آخرون بالبحث عن علامات مرشدة قد تدلنا على وجود الثقب الأسود. ففى روسيا، أدرك "ياكوفْ زيلدوفيتشْ" أن عدداً كبيراً من النجوم يوجد فى ثنائيات ـ أى فى نظام نجمى مزدوج ـ بحيث يدور فيها نجم حول آخر، وكان من

الواضح أن التأثيرات الجذبية لكل منهما سوف تقدم بالتأكيد تفسيراً لحركتهما. وقاده ذلك إلى اقتراح يقضى بأنه فى حالة انهيار أحد النجمين وتحوله إلى ثقب أسود، فإن النجم الآخر سيظل يدور حوله؛ إذ سيظل للثقب الأسود الناشىء كتلة النجم المنهار، وبالتالى سيظل تأثيره الجذبى على النجم الآخر قائمًا. معنى هذا أن النجم سيظهر كما لو كان يدور فى حلقة حول نفسه. ولرصد مثل هذا النجم، يجب أولاً اختيار أحد هذه النظم النجمية المزدوجة، ثم أخذ عينات ضوئية له على فترات ثابتة، ثم دراسة تغير إزاحة دوبلرْ بين قراءة فى لحظة معينة وقراءة أخرى تالية لها، كلما دار النجم مبتعداً عنا أو مقترباً منا. فإن أثبتت تلك القراءات أن النجم يدور فى حلقة دون أن يكون معه شريك ظاهر يسبب تلك الحركة، فسيكون ذلك الشريك ثقبًا أسود على أفضل التفسيرات.

لكن، من أين يمكننا أن نبدأ البحث عن مثل هذا النجم؟ إن أمر الاختيار من مليارات النجوم، بشكل عشوائى وعلى مدار شهور، أملاً فى العثور على نجم توأمه ثقب أسود، سيكون مكلفًا ومستغرقًا لوقت طويل. لحسن الحظ، استنتج زيلدوفيتشْ، عن طريق الحسابات، أن السحب الجذبى الهائل للثقب الأسود ــ الذى سيؤثر به على رفيقه فى النظام الثنائى ــ سوف يجرده، بعنف، من المادة ويبعدها عن سطحه محرراً كماً كبيراً من الطاقة فى صورة أشعة سينية. إلا أن الأشعة السينية يمكن أن تصدر ــ أيضًا ــ من ظواهر أخرى، وبالتالى فهى لا تصلح وحدها لإقامة الدليل على وجود الثقب الأسود، ومع ذلك تظل علامة نافعة على المكان الذى قد يكون به أحدها. على ذلك، لو

التقطت التلسكوبات الكاشفة للأشعة السينية إشعاعًا من مكان ما، فسيكون من الممكن دراسة تلك المساحة بالتلسكوبات الضوئية للبحث عن نظـــام ثنـــائي. وإذا تم رصد نجم وحيد، فسيعني هذا أنه يستحق الدراسة عن قرب. وإذا كان نموذج حركته كما توقع زيلدوفيتش، فسيدلنا هذا على وجود جسم غير مرئي يتفق وكونه ثقبًا أسود يسبب دوران النجم حوله، وبالتالي ســيكون التفســير الأفضل لمثل تلك الأدلة مجتمعة ـ من حركة النجم والأشعة السينية الصادرة من تلك المنطقة ـ وجود ثقب أسود، وسيعرف الراصدون ساعتها أنهم قــد اكتشفوا أحدها بالتأكيد.

اقترحت حسابات أخرى في ذلك الوقت إمكانية وجود علامات مثيرة أخــرى للثقب الأسود. فالمادة المتدافعة نحو الحد الخارجي للثقب الأسود سيتم سحبها بسرعات كبيرة، بسبب الدوران الذاتي(٤٣) العنيف للثقب الأســود، لتجعلهــا تدور بسرعة، حتى إن بعضًا منها سيُقذف بقوة كبيرة، على هيئة نفثَات، في خط مستقيم يمتد لمليارات الأميال في الفضاء ـ تمامًا ـ كانسكاب القهــوة طائرة من قمة فنجان عندما يحاول شخص ما أن يقلب اللبن والســكر مــع القهوة عن طريق تدوير الفنجان بيديه دون استخدام ملعقة. وهكــذا أصــبح هناك تأثير آخر يمكن أن يتسبب فيه الثقب الأسود، وبالتالي يمكن للفلكيــين التحري عنه. لكن المشكلة كانت في تشابه هذا التأثير مع ظــاهرة أخــرى، فالأجسام شديدة الانضغاط، كالنجوم النيوترونية، التي تنشــأ مــن انفجــار

(٤٣) الدوران الذاتي لجسم: دورانه حول محور وهمي ثابت يمر بداخلــه، مثــل دوران الأرض حول محورها، والذي ينشأ عنه ظاهرة تعاقب الليل والنهار. (المراجع).

المستعرات العظيمة، تنتج ــ أيضًا ــ نفثات من المادة، وعلى ذلك، لن يكون من الممكن الاعتماد فقط على تلك الظاهرة كعلامة على وجود ثقب أســود. من ثم، مازلنا بحاجة لأدلة أخرى، مثل انبعاث الأشعة السينية ورصد نجـم يدور بمفرده دون سبب ظاهر، كى نصبح على يقين من وجود ثقب أسود.

كانت الأرصاد الأولى غير كاملة بشكل يصعب تجنبه، فقد شوهدت نفثــات عملاقة من المادة تخرج فى الغالب من مراكز المجرات، وتم تسجيل نشــاط إشعاع سينى قادم من عدة أماكن؛ لكن لم يكن هناك شيء حاســم، وبقيــت الأمور معلقة. فيا تُرى، هل سيكون بأحد تلك الأماكن ثقــب أســود؟ أم أن الأمر سيتمخض عن أن تكون الثقوب السوداء محــض خيــال نشــأ مــن المعادلات النظرية الغنية بالاحتمالات، قُدِّر عليها أن تظل محض احتمــالات نظرية ليس إلا؟

ولأن ستيفين هوكينج قد أنفق كثيراً من الوقت لدراسة الثقوب السوداء، قــام بعقد رهان مع الأمريكى كيبْ ثورنْ، الذى يعمل فى المجال نفســه، ولعلــك تتذكر أنه تلميذ جون ويلر، الذى كان حاضراً فــى مــؤتمر تكســاس عــام ١٩٦٣، مع دينيس شاما، الذى أشرف على ستيفين. وكان الرهان يمثــل ــ من وجهة نظر ستيفين ــ نوعًا من التأمين على الأفكار[٤٤]؛ لذا عقد ستيفين الرهان على أن أحد تلك الأماكن فى السماء لن يكون بها ثقب أسود، وكــان على كيب ثورن أن يتبنى الرؤية الأخرى؛ فيكسب الرهان إن ظهر بالفعل أن

(٤٤) مثل التأمين على الحياة، فإذا ماتت الفكرة ــ بأن يثبت خطؤها ــ يحصل ســتيفين على تعويض. (المراجع).

أحد تلك الأماكن بها ثقب أسود. وتصادف أن الرهان كان علـــى أن يــدفع ثورن أجر حارس خصوصى لستيفين لمدة أربعة أعوام إذا كسب الرهان، أو يدفع ستيفين لثورن إيجار شقة على سطح أحد المبانى[٤٥] لمدة سنة إذا خسر ستيفين الرهان. وبرغم اعتقاد ستيفين أن أحد تلك الأماكن سيكون ثقباً أسود، إلا أنه راهن على خلاف ما يعتقد، مُعللاً ذلك بأنه إن خسر الرهان فسيكون لعمله قيمة، وبالتالى لن يبالى أن يدفع إلى كيب ثورن، أما إذا لم يكن ثمـــة ثقوب سوداء فسيصبح عمله كله مضيعة للوقت، لكنه على الأقل سيحصـــل على تعويض بالحصول على حارس شخصى لمدة أربعة أعوام بلا مقابل.

بدأت الأدلة تتصاعد بالتدريج، فقد تم كشف إشعاع سينى من منطقـــة الـــنجم "سيجنى إكس ١"[٤٦] فى عام ١٩٧٩، والذى بدا كنجم ضمن نظام ثنائى دون وجود شريك مرئى له، وكانت تلك المنطقة التى راهن عليها ستيفين وكيب. ولم يمض وقت طويل حتى تمت إزالة كل الاحتمالات الأخرى ليصبح هناك اتفاق عام على اكتشاف ثقب أسود، وكتب ستيفين هوكينج فى كتابه "مـــوجز تاريخ الزمن" فى نهاية الثمانينيات يقول إنه قام بالرهان عام ١٩٧٥، حيـــث كان هناك احتمال ٨٠٪ أن يكون "سيجنى إكس ــ ١" ثقبًا أسود، وفى عـــام ١٩٨٧ زادت النسبة إلى ٩٥٪، وبعد بضع سنوات، أذعن ستيفين للهزيمـــة وتناول الورقة التى تعلن عن الرهان من لوحة الإعلانات، وبدأ "ثورن" فـــى تلقى إيجار الشقة.

---

(٤٥) شقة ملحق بها حديقة بأعلى مبنى سكنى: Roof Garden. (المراجع).
(٤٦) بكوكبة الدجاجة Cygnus. (المترجم).

أغرب من الخيال

استمر ستيفين بالطبع فى المساهمة فى دراسة الثقوب السوداء من الناحية النظرية، سابراً أغوار طبيعتها بالعمل على التوقعات الناشئة من الرياضيات المعقدة ذات الصلة بالموضوع، وربما كان أفضل إنجاز معروف له، اكتشافه الإشعاع الذى عُرِف باسمه، "إشعاع هوكينج". لقد تناولت معظم أعماله السابقة ما يحدث عند حافة الثقب الأسود، حيث يمكن للمادة والضوء الهروب من الثقب الأسود أو السقوط فيه، حيث أخبرتنا تلك الحسابات أن المساحة النشطة التى تحيط بالثقب الأسود، والتى عُرفت باسم "أفق الحدث"، سوف تزداد كلما التهم الثقب الأسود المزيد من المادة، وكان هذا اكتشافاً قيمًا، حيث أسهم فى الحد من الخيارات النظرية التى تشرح كيفية تطور الثقب الأسود دون خرق لبعض قوانين الفيزياء المتعلقة بالطاقة.

عند ذلك، اقترح الطالب الباحث الأمريكى، "جاكوبْ بيكينشتاينْ"، من جامعة برينستون، أن خصائص الثقب الأسود التى تتوقعها رياضيات ستيفين تستلزم وجود درجة حرارة للثقب الأسود، إلا أن ذلك لم يلق قبولاً لدى ستيفين. ذلك أن أى شىء له درجة حرارة، فلابد له أن يشع؛ فكيف سيشع الثقب الأسود الذى لا يستطيع أى شىء أن يهرب منه، وَفْقًا لتعريفه؟ مع ذلك قام ستيفين، لأسباب مختلفة تماماً، بحساب إمكان إشعاع الثقب الأسود للجسيمات أثناء دورانه، وكم كانت دهشته عندما اكتشف أن المعادلات التى كان يعمل عليها تنبأت بإمكان إشعاع الثقب الأسود للجسيمات، بغض النظر عن دورانه،

واتفقت هذه الإشعاعات تمامًا مع درجة الحـــرارة التـــى تضـــمنتها أفكـــار بيكينشتاينْ. لقد اكتشف هوكينج كيف يمكن للثقب الأسود أن يطلق إشـــعاعًا، وفى الوقت نفسه يكون خاضعًا لقوانين الفيزياء المتعلقة بالطاقة.

أثناء انشغال ستيفين وآخرين بالعمل النظرى المعقد لتعريف الثقب الأســـود، بدأ الفلكيون فى رصد المزيد من نماذج الثقوب السوداء، حيث وجدت بتوزيع معين بمراكز المجرات. ورغم أن الكوازارات بعيدة جداً بالنســـبة لعمليـــات الرصد المفصلة، بحيث يصعب إيجاد صلة بينها وبين الثقوب الســـوداء، إلا أن أحد مفاتيح الحل جاء على يد "سوزان ويكوفْ" و"بيتـــرْ وينجـــر°" عـــام ١٩٨٠؛ إذ شاهدا منطقة سديمية حول "٣سى٢٧٣"، التى لعلك تتذكر أن أول الكوازارات قد تم التعرف عليه فيها، وكانت النتائج واضحة تمامًا. لقد اتضح أن السُّدُم المرصودة ما هى إلا مجرات عندما تم رصدها عن قُـــرب. فـــإذا كانت الكوازارات محاطة بمساحات سديمية، فهذا يعنى أنها كانت فى مراكز مجرات أيضًا، بالضبط كما تبدو العديد من الثقوب السوداء اليوم، ثم تأيد ذلك بدليل آخر، حيث تم العثور على المزيد من النفثات الضخمة من المادة، التى تم رصدها بقلب المجرات القريبة، والمعروف أنها أيضًا علامة على احتمال وجود ثقب أسود.

لكن إذا ارتبطت الكوازارات بالثقوب السوداء برابطة ما، فلمـــاذا لا نـــرى ضوء الكوازار من تلك المجرات القريبة؟ جاءت إحدى الإجابات المقبولة من إدراك البُعد السحيق للكوازارات، وبعبارة أخرى، فإن ضوءها استغرق وقتاً طويلاً جداً ليصل إلينا قياسًا على وصول ضوء المجرات القريبة، ونحن حين

نراها فإنما نراها كما كانت منذ مليارات السنين، فى وقت تكون أُولَى المجرات، أما المجرات القريبة نسبيًا، بالمصطلح الفلكى، فنراها كما كانت منذ عهد قريب. وعلى هذا، تطورت المجرات الأولى فى الكون بطريقة متميزة لما بعد المرحلة التى كانت فيها الكوازارات فى القلب منها، ويشير كل ذلك إلى أن الطاقة العالية للكوازارات قد لعبت دوراً مكملاً لتكوين المجرات الأولى[٤٧]، ولكنها لم تعد كذلك.

أحد الأسباب الأخرى، أن الثقوب السوداء كانت المصادر الأولية للسحب الجذبى الذى جمع المادة فى البداية فى تكتلات تكونت منها المجرات، ونتج ضوء الكوازارات من التفاعلات النووية الناشئة من تصادم الجسيمات فى تيارات المادة الثائرة ذات الطاقة العالية، التى تدور حول الثقوب السوداء، وأثناء ذلك قام الثقب الأسود تدريجيًا بسحب كل المادة المتصادمة بداخله، ثم استقر الوضع. أما المادة الكثيرة خارج الثقب الأسود فقد تم سحبها فى اتجاهين متضادين، فالثقب الأسود يسحبها ناحيته، والنجوم والغبار الكونى من حوله يسحبان تلك المادة بعيداً عن الثقب الأسود، وبالتالى ثبت الوضع بحيث تكونت حلقة من المادة تدور حول الثقب الأسود دون أن تسقط فيه أبداً، واضمحلت التصادمات بالقرص، تلك التصادمات التى سبق أن أنتجت ضوء الكوازار، مُخَلِّفَة وراءها ضوءاً من النجوم المتجمعة حول مركز المجرة. وعلى هذا، فالضوء الذى نراه من المجرات القريبة بنفس لمعان

---

(٤٧) كانت التفاوتات الضئيلة فى درجة حرارة الخلفية الإشعاعية أحد الأسباب الرئيسية التى ساعدت على تكون المجرات فى الكون. (المراجع).

الكوازارات نفسها، هو الضوء الناتج من التجمعات النجمية المركزية، التـى تطورت من النشاط القديم للكوازار. على هـذا، فـالنجوم المركزيـة فـى المجرات الأقرب تعتبر جزءاً من المساحة التى ما تزال ذات طاقة كبيرة، إلا أنها أقل بكثير من تلك التى تم إنتاجها فى التصادمات العنيفة التـى سـببت العديد من الكوازارات القديمة التى وُلدت منها هذه النجوم.

إن صح هذا، فسيعنى أننا قطعنا شوطًا طويلاً فى فهم الإشارات الراديويـة الغامضة التى التقطتها التلسكوبات منذ أقل من خمسين عامًـا. وربمـا لـم نكتشف كل ما ألهب خيال كُتَّاب الخيال العلمى الأوائل؛ إلا أن عدداً كبيراً من الأفكار، التى بدت وكأنها ستظل نظريات شاذة، قد تم توثيقها كحقائق علمية. وإلى الآن لا توجد إشارات لحياة عاقلة فى أى مكان فى الكـون، لكننـا ــ عِوَضًا عن ذلك ــ تعرفنا على الثقوب السوداء العجيبة، بمفرداتها الغامضة التى مازالت تحيرنا، بشكل يُرضِى تقريبًـا كـل الخبـراء، وأصـبح لهـا وللكوازارات مكان مناسب فى جدول اهتماماتنا.

يعنى هذا التطور أنه مهما كانت التوقعات الأخرى لرياضيات علم الكونيات، فإن علينا أن نأخذها مأخذ الجد، حتى لو كانت غير متوافقـة مـع خبرتنـا المحدودة عن الحقيقة. وما يزال الخيال العلمى يُعَبِّد الطريق لقبول مـا قـد يتحول فى النهاية إلى حقيقة علمية، ومثال ذلك أنه باستخدام معادلات ألبرت أينشتاين يمكن توقع تغيرات فى شكل الفراغ والزمان بطريقة قد تؤثر بشكل لم نعرفه من قبل ــ مثل انحناء الزمان.

يتصور معظم الناس الكون كبالون دائم التمدد ونحن داخله بمكان ما، ولكــن ربما كان هذا البالون لا يتمدد على الإطلاق، وبدلاً من ذلك يكون على هيئة حقيبة مرنة رخوة. ولربما كنا فى كون يمكن أن ينحنى فيه الفراغ والزمــان ويلتويا بحيث ينثنى على نفسه، لدرجة يمكن معها اقتراب جزءَين من غلافه الخارجى بدرجة كافية ليتصلا ببعضهما عبر "ثقوب دودية"، أى أنفاق غريبة عبر الفراغ والزمان، قد يمكننا، فى يوم من الأيام، أن ننتقل خلالها من أحد أطراف الكون إلى طرف آخر! وما يزال كتاب الخيال العلمى يعرضون تلك الأفكار أمامنا، بحيث يتسنى لهم سبق العلم بخطوة أو خطوتين نحو الحقائق العلمية التى تبهر أنفاسنا. ولربما لا نستطيع أن نقبل بسهولة فكرة الخــروج من كوننا، فقد افترضنا دائمًا، وفق التعريف، أن الكون يحتضن كــل شــىء بداخله. ومع ذلك يعطينا بعض العلماء، وكتاب الخيال العلمى هــذه الأيــام، اعتبارات جادة لإمكانية وجود أكوان أخرى، وربما عدد لا نهائى منها. فإذا كنا قد فهمنا كيف بدأ كوننا هذا، فيبدو أن علينا أن نفتح أذهاننا لأفكار صعبة ومضادة للبديهة مثل تلك الأفكار.

الفصل الثانى عشر

تضخم بكل النِّسَب

هناك أمثلة لا تُحصى للعمل الجماعى المثالى، الذى كانت فاعلية المجمـوع فيه أكثر بكثير من فاعلية الفرد. خذ مثلا "فرِيد أستير" و"جينجرْ روجرز"[٤٨]، أو راعى الأغنام وكلبه، أو "فرانسيسْ كريكْ" و"جيمسْ واطسـونْ"، اللـذين اكتشفا تركيب الحمض النووى بالخلية. على هذا النحو مضى الأمر فى علم الكونيات، فقد كان الإلهام النظرى "لكبلر" بحاجة لأرصاد "براهىْ" العملية قبل أن نفهم الشكل الحقيقى لمدارات الكواكب حول الشمس، وهـذا يُعـد مثـالاً نموذجيًا لكيفية العمل المستمر والدائم لكل من النظرية والتطبيق، يدًا بيد، فى سبيل كشف طبيعة الكون. كذلك، أوضح الرصد القديم للسفن فى الأفـق أن الأرض كروية؛ لذا تعين على النماذج النظرية الأولى عن الكون أن تفسـر الحقائق التى تم رصدها، كما تعين على النظريات تفسير المواضع التى تـم رصدها للشمس والقمر والنجوم والكواكب، فكان نموذج "بطلميوس" النظرى أول صياغة شاملة لهذا، وقد كان من الجودة بحيث إنه عاش حتـى جـاءت أرصاد "جاليليو" لتثبت أنه معيب. ثم قدمت نظريات "نيوتن" نموذجاً جديـداً عن كون ساكن؛ ثم جاءت أرصاد "هابل"، بعد ذلك بحوالى ٣٠٠ عام، لتقودنا إلى نموذج الانفجار العظيم لكون ديناميكى. ومازالت الأرصاد ليومنـا هـذا

([٤٨]) راقص مشهور ومصمم استعراضات، أمريكى الجنسية. (المراجع).

تدعم هذا النموذج الأخير، حيث اكتشف "بنزياس" و"ويلسون" إشعاع الخلفية الناجم عن الانفجار العظيم، كما اكتشف "جورجْ سموت" ـ مستخدمًا القمـر الصناعى "كوبى" ـ التفاوتات البسيطة فى درجة حرارة الكون، التى تسببت فى نشأة المجرات.

الانفجارات الصغيرة ومحدودية الأرصاد

وصل هذا العمل الجماعى بين النظرية والأرصاد، فى علم الكونيـات، مـع الأسف، إلى حده الأقصى، فنحن إن أردنا اقتفاء الأثر حتى البدايات الأولـى للكون ـ عند لحظة بداية الانفجار العظيم ـ لوجدنا أن لدينا أسـبابًا قويـة تخبرنا عن سبب عجز الأرصاد. نعم، من المدهش أننا مازلنا قادرين علـى كشف الإشعاع الناتج عن الانفجار العظيم، لكن إذا تذكرنا تعريـف درجـة حرارة الصفر المطلق، التى تبلغ ٢٧٣ درجة مئوية تحت درجة تجمد الماء، فسوف نجد أنه من غير الممكن قياس حرارة كتلك، وبالتالى لا يمكننا، عـن طريق قياس درجة الحرارة، رصد أو اكتشاف أى شىء له درجـة حـرارة الصفر المطلق. إلا أن الحسابات النظرية استنتجت أن درجة حرارة الانفجار العظيم، بعد مضى ١٥ مليار سنة، ما تزال أكبر من الصفر المطلق بدرجات قليلة، وما يزال بإمكاننا قياس ورصد بقايا الانفجـار العظـيم، أى الخلفيـة الإشعاعية، علاوة على تمكُّننا من كشف تفاوتات طفيفة فى درجة حرارة هذه الخلفية الإشعاعية، وكان هذا سبيلنا، الذى كشف أصل تكون المجرات عـن طريق الرصد.

بمثل ما أن هناك حدًا ـ الصفر المطلق ـ لما يمكن الكشف عنه عند درجات الحرارة المنخفضة، فهناك ـ أيضًا ـ حد لما يمكننا رصده عند درجات الحرارة المرتفعة جدًا؛ إذ تخبرنا النظريات بأن كل شيء يصبح معتمًا تمامًا عند درجات الحرارة المفرطة الارتفاع، ومن ثم لن يكون بمقدورنا تمييز شكل وتركيب هذا "الشيء" ذى الحرارة المرتفعة جدًا، الذى سيبدو كما لو كان يلفه ويخفيه ضباب ساخن كثيف. على هذا، حتى لو تمكنَّا من بناء تلسكوبات أكثر قوة وذات قدرة أكبر على رؤية أعماق سحيقة فى الفضاء، ولمسافات أبعد من الكوازارات، فنحن نعلم مسبقًا أنه لن يكون بمقدورنا الرؤية فى الزمن الماضى وصولاً للحظة الانفجار العظيم، وعلينا أن نتذكر أننا كلما رأينا لمسافات أبعد فى الفضاء، يستغرق الضوء الذى نرصده زمنًا أطول فى الوصول إلينا. ونحن ـ عادةً ـ نستخدم اسم "السنة الضوئية" للتعبير عن مسافات الأجسام النائية، حيث تُمثل الزمن الذى يستغرقه الضوء القادم من تلك الأجسام حتى يصل إلينا فى سنة أرضية[٤٩]. يعنى هذا أننا لو استطعنا رؤية شيء ما خرج منه الضوء منذ أكثر من ١٥ مليار سنة، فسيكون بمقدورنا رؤية لحظة الانفجار العظيم. إلا أن هذا أمرٌ مستحيلٌ كما أسلفنا، مهما بلغت قوة تلسكوباتنا؛ إذ سنصطدم بضباب الحرارة

---

(٤٩) "السنة الضوئية" تعبير زمنى مرادف للمسافة التى يقطعها الضوء فى سنة، وتساوى حوالى ٣٠٠٠٠٠ (ثلاثمائة ألف) كيلومتر (وهى المسافة التى يقطعها الضوء فى ثانية واحدة) × ٦٠ (ثانية) × ٦٠ (دقيقة) × ٢٤ (ساعة) × ٣٦٥ (يومًا) = ٩,٤٦٠,٨٠٠,٠٠٠,٠٠٠ كيلومتر. (المترجم).

الكثيفة، التى كانت موجودة عند حوالى ٣٠٠٠٠٠ (ثلاثمائة ألف) سنة بعد لحظة الانفجار العظيم.

إن أفضل ما يمكننا عمله، ونحن نرصد تلك اللحظات الأولى للكون، أن نحاول مراقبة الظروف التى يجب أن تكون موجودة ــ نظريًا ــ عقب لحظة الانفجار العظيم. وفى ظل إمكانات التقنيات الحديثة، يمكن إعادة تخليق تلك الظروف فى معجلات الجسيمات، ولكن لكسور من الثانية فقط، وعند اللحظة التى نحصل فيها على أسرع تصادمات بين الجسيمات، تنشأ حرارة وضغط يشبهان تلك الحرارة وذلك الضغط اللذين يُعتقد بوجودهما خلال الثانية الأولى من الانفجار العظيم، ولكن لفترة وجيزة. هذه اللحظات، التى يسميها الفيزيائيون "الانفجارات الصغيرة" بالغة القِصر، بحيث لا تقدم لنا سوى معلومات قليلة يمكننا استخدامها لتخمين ما حدث عند الانفجار العظيم. وعلى الرغم من أن هذه الظروف الصناعية المُخلَّقة تشبه الظروف التى وُجدت عند أجزاء الثانية الأولى عقب الانفجار العظيم، فليس هناك سوى القليل لنعرفه عما حدث قبل تلك اللحظة الحاسمة، كما أنها لا تعطينا أدنى فكرة عما تسبب فى وجود هذه الظروف، ومع ذلك فهى تؤيد فكرة أن هذه الظروف نفسها تسمح بنشوء شىء بضخامة الكون.

الذى تؤكده تلك اللحظات فى معجلات الجسيمات أن كل ما كان موجوداً، فى تلك الحرارة والضغط الهائلين، مجرد طاقة خالصة، فمسارات الجسيمات لا تبدأ بالضبط عند اللحظة الفعلية للاصطدام؛ بل تنبثق من الطاقة المحضة التى يلتقطها كاشف المعجلات عند لحظة الصدام، وهذا لا يخبرنا عما حدث

فى الجزء من الثانية قبل ذلك. والآن لنا أن نسأل: كيف بدأ الانفجار العظيم؟ ما الذى أنتج التمدد وحافظ على التفاعلات المتسلسلة، التى سمحت بنمو الكون حتى إنه مازال يتمدد بعد ١٥ مليار سنة؟ من الواضح أنه سيكون شيئًا هائلاً لعلم الكونيات لو أمكننا بناء معجلات قادرة على تخليق ظروف أشد قسوة، كتلك التى يجب أن تكون موجودة قبل "الانفجارات الصغيرة"، ولربما نكون ساعتها قادرين على رصد ظواهر قد تساعدنا فى الإجابة عن تلك الأسئلة. ورغم ذلك، يبدو — مرة أخرى — أن هناك حدودًا لما يمكننا رصده.

لقد كان باستطاعة المعجلات الأولى، التى بلغ طولها مترين، أو ما يزيد قليلاً، أن تُعجل الجسيمات بحيث تكون قادرة على تحطيم الذرات عندما تبلغ أقصى سرعة لها عبر تلك المسافة القصيرة، أما إذا أردنا أن نسرع الجسيمات أكثر، فعلينا أن نجعلها تتحرك على مسافات أطول بكثير، وبشكل تدريجى، للحصول على كل الزيادات الطفيفة فى السرعة. وفى معجل "سيرن" البالغ طوله ٢٧ كيلومتراً، تتصادم الجسيمات، التى تم تعجيلها خلال هذه المسافة بدرجة تسمح بتخليق "انفجارات صغيرة". وقد أوضحت الحسابات أنه لخلق ظروف تحاكى ما حدث فى اللحظة السابقة، أى اللحظة التى بدأ عندها الانفجار العظيم، فإن حجم المعجلات التى نحتاجها لابد أن يكون ضخمًا جدًا. يرى بعض الفيزيائيين أنها يجب أن تكون بحجم المجموعة الشمسية، فى حين يزعم آخرون أنها يجب أن تكون بحجم الكون ذاته! وبالطبع لا يهمنا ما هو الرأى الصحيح، فكلا الحجمين غير عملى

بالمرة، ويبدو أننا نواجه مرة أخرى محدودية الرصد. (راجع الصورة رقم ٢٩).

تكوين الصور بالمكعبات

هكذا، يبدو أن الألغاز العظمى عن الكون يجب أن تُحل بالعمل النظرى فقط، والخطر الواضح هنا أن أصحاب الصوت العالى والأفصح بيانًا ربما كُتِب لهم النصر والسيادة بدلاً من أصحاب المبادئ العلمية المُثبتة عمليًا. ومن النظرة السريعة يمكن القول أن العجز عن إثبات أفضلية فكرة ما عن أخرى، باستخدام العمل النظرى فقط دون الرجوع للأرصاد، سيتسبب فى مشكلة الاختيار بين البدائل النظرية المطروحة. لكن تظل هناك ـ فى الواقع ـ بعض المظاهر الفيزيائية والرياضية، التى يمكن استخدامها عند تصميم نظرية، أو أخرى، قد تحمل فى طياتها بذور الإثبات المطلوب لصحتها.

تخيل أن المُنَظِّرين يشبهون الأطفال الذين يلعبون بالمكعبات، التى على وجه كل منها جزء من صورة، ولأن لكل مكعب ستة أوجه، سيكون من الممكن ترتيبها بحيث تظهر صورة ذات معنى من ست صور محتملة، ومن الطبيعى أن نركز تفكيرنا لتكوين صورة واحدة فى كل مرة، وبالتالى ـ عن طريق المحاولة والخطأ ـ يمكن ترتيب المكعبات، واحدة تلو أخرى، للحصول على صور ذات معنى. وبالطريقة نفسها يمكن تجميع أجزاء نظرية جيدة فى علم الكونيات، ويصبح السؤال: كيف يمكن إثبات أن تلك الصورة هى الصورة الحقيقية، وأنها ليست ببساطة مجرد احتمال؟

إذا قلَّبنا المكعبات بحرص، بحيث نحافظ على الصورة ـ التى سبق تكوينها ـ مختفية عن أنظارنا وموجودة على قاعدة قالب المكعبات، فإن الوجه، الذى كان مخفيًا، سيظهر على السطح العلوى، وإذا كان ما نراه يُشكل صورة واضحة ذات معنى، ومختلفة عن التى تم تجميعها فى الأصل، فسنكون متأكدين أن الصورة التى تم تكوينها فى البداية صحيحة. وبالطريقة نفسها يبدو أن إنشاء نظرية كونية واعدة يمكنه السماح لنظرية أخرى بالوجود، وسيكون ذلك دليلاً على صحة النظرية الأصلية.

المثال الجيد على هذا هو اكتشاف "ستيفين هوكينج" لإشعاع هوكينج، فلعلك تذكر أنه كان يحاول كتابة مجموعة من المعادلات الأنيقة ـ أثناء إنشائه لنظريات قام باستنباطها أحد علماء الكونيات الروس ـ لصياغة نظرية رياضية توضح كيف أن دوران الثقب الأسود سوف ينتج سيلاً من الجسيمات فى الفضاء، فوجد أن معادلاته تقدم صورة مختلفة اختلافًا بسيطًا؛ إذ كان العالم الروسى قد أوضح كيف أن الثقب الأسود سيشع، بغض النظر عن دورانه. وعندما نظر ستيفين إلى استنباعات تلك الصورة (المكافئة لعملية قلب مكعب الصور)، تبين له أنها تتنبأ بوجود درجة حرارة للثقب الأسود تماثل تمامًا درجة الحرارة التى تجعل لنظرية "جاكوبْ بيكينشتاين" معنى، وكان هذا مكافئًا لتكوين صورة ذات معنى على الوجه غير المرئى لقالب المكعبات.

لقد كسبت بعض الأفكار النظرية المحضة ـ بسبب دقتها ـ القبول على مستوى واسع، مُدعَمة بتلك النوعية من البراهين، وتحرك العلماء بعض

الشيء في اتجاه تطوير فهمنا للجزء الأول – غير المرصود – من الثانية الأولى عند بداية الكون. كذلك طُوِّرَت بعض الأفكار الأخرى بدعم نظرى بسيط؛ لذا، سيكون علينا أن نتحسس طريقنا بعناية بين النظريات المقبولة لدى علماء الكونيات هذه الأيام، وبين تلك التي لا تعدو أن تكون مجرد أفكار غير مثبتة.

فراغ ضئيل

إحدى تلك الأفكار، التي يجدها علماء الكونيات مقبولة، تسمى "نظرية التضخم"، وترجع أصولها لنهاية السبعينيات. فعندما بدأت الحرب الباردة في الأفول، كان نشر الأفكار، وخاصة المكتشفات العلمية، في روسيا ما يزال تحت سيطرة الحكومة المركزية هناك، وكان الفيزيائي العبقري الشاب "أندريهْ ليندْ" يعمل في موسكو على التفسيرات النظرية لما يمكن أن يكون قد تسبب في التمدد السريع للكون عند منشئه، أي ما يجب أن يكون قد حدث عقب الانفجار العظيم مباشرة؛ إذ تبين له ضرورة وجود شيء ما سبَّب كل هذا، وإلا لما آل الكون إلى حجمه الحالي ومعدل تمدده الذي نرصده اليوم.

في أحد الأيام واتته فكرة ملهمة، فقد تذكر أنه قبل بضع سنوات، تم مبدئيًا افتراض أن الطاقة يمكن أن تنشأ باستمرار من لا شيء على الإطلاق، وذلك عند تطبيق ميكانيكا الكم على القوانين التي تحكم طبيعة الفراغ. كان هذا يعني السماح بتطبيق مبدأ "عدم التحديد" على الفراغات الضئيلة مثل ما طُبق على الجسيمات تحت الذرية. وبالطريقة نفسها، التي سمحت بها ميكانيكا الكم

للجسيمات بالظهور فجأة والاختفاء فجأة من الوجود، فإن النظرية يجب أن تسمح لأقل قدر من الفراغ أن يفعل الشيء نفسه! ولأن خبرة العلماء مع الثقوب السوداء قد حملتهم على احترام النتائج الغريبة التي تصل إليها الرياضيات الجادة، مهما بدت غرابتها، فقد بدا أن هناك جدوى في أن يُولي العلماء هذه الفكرة اهتمامًا حقيقيًا.

تمثلت المشكلة في أنه حتى لو أمكننا ـ فرضًا ـ السماح بظهور "الفراغ الضئيل" للوجود فجأة، بحيث يحتوى بداخله على قدر ضئيل من الطاقة، فليس ثمة طريق واضح يمكن به تحويل هذا القدر من الطاقة إلى كل المادة التي في الكون. وكانت تلك هي النقطة التي هبط الوحي فيها على رأس ليندْ، فقد تذكر أن هناك بعض الأبحاث قد تمت على سلوك الطاقة في الفراغ، اقترحت إمكان تمددها التلقائي فيه. فتساءل ليند عما سيحدث لو أن الفراغ الضئيل من الطاقة ظهر للوجود فجأة وتمدد بسرعة ثم فشل في الاختفاء من الوجود مرة أخرى؟ هل يمكن لتمدد الطاقة أن يستمر لفترة كافية، يُعَضِّد بعضه بعضًا، كي يسمح ببزوغ كون مليء بالمادة ويشبه الكون الذي نرصده اليوم؟

أثار هذا الاحتمال عقل ليند، فأكب على رياضيات الموضوع، وتوصل إلى إمكان ظهور كون ـ من الناحية النظرية ـ بسبب تمدد سريع من هذا النوع. لكن المشكلة تمثلت في أن ذلك الكون الذي تصفه تلك الرياضيات لن يكون له كل خصائص الكون الذي نعرفه؛ لذا، هل تستحق تلك الفكرة أن تؤخذ مأخذ الجد؟ لقد كان لدى ليند القناعة التامة بجدوى الفكرة، ومن ثم

اعتزم تحسين نظريته تلك ليرى إن كان باستطاعته جعلها تنتج كوناً أكثر واقعية. ورغم قناعته بالفكرة، إلا أنه قرر ألا ينشرها عند تلك المرحلة؛ إذ أدرك أن اللجنة المركزية لن توافق على النشر بسبب الجو السائد فى العلوم بروسيا فى ذلك الوقت، واعتقد أن اللجنة قد تشير إلى أن ليندْ لم يقدم سوى نظرية شائقة لا يمكن إثباتها، وأنها لا تؤدى إلى الكون الذى نعرفه، وبالتالى كان أى بحث سيكتبه فيما بعد سيتم رفضه.

فى تلك الأثناء كان هناك فيزيائى آخر يعمل على الاحتمالات النظرية نفسها بالولايات المتحدة، لقد واتته لحظة إلهام هو أيضًا. لقد عمل "آلانْ جوثْ" على الرياضيات الأساسية للموضوع فى الليلة نفسها التى جاءته فيها البصيرة الفجائية، واندفع مسرعًا إلى مكتبه فى صبيحة اليوم التالى ليلتقى بزملائه. كان جوثْ يمسك الكراس الذى كتب فيه المعادلات، وقد دون عليه على عَجَل عبارة: "فكرة تستحق النظر"، وأدرك زملاؤه من خلال شرحه لنظرية التضخم أنه قد خطا بالفعل خطوة مهمة للأمام. كان هو ـ أيضًا ـ يشرح كيف يمكن لتضخم ابتدائى للطاقة فى الفراغ أن يبدأ الكون؛ كما أدرك ـ أيضًا ـ أن نوع الكون الذى تتنبأ به نظريته لا يتفق مع الكون الذى نعيش فيه.. ولكن، بخلاف الروس، كان للأمريكيين تقاليد للنشر العلمى عندما توجد فكرة جيدة، حتى إن كانت نتائجها تواجه بعض المشاكل، ولم يتردد جوث فى نشر فكرته بإحدى الدوريات العلمية الأمريكية، وتم على الفور اعتماده كمكتشف لنظرية التضخم.

بغض النظر عمن كان أول من توصل ببصيرته الملهمة لفكرة التضخم، فإنه من المؤكد أن كلاً من ليند وجوث قد توصلا لها، كل على حدة. ويُقِر ليند ــ الآن ــ بأن جوث كان لديه الثقة الكافية بفكرته لينشرها أولاً، فى حين أقــر كلاهما أن النظرية فى حقيقة الأمر لم توصلنا إلى الأساسيات المعلومة عــن الكون الفعلى. وبدون شك، كان لأسلوب الأداء العلمى فى كلا البلدين تأثيره على اتخاذ القرار بالنشر.

تضخم الفقاقيع

يعتقد العديد من علماء الكون ــ الآن ــ أن نظرية التضخم تفسر أحد مظاهر الكون الحقيقى؛ وفى الوقت نفسه يعتقد آخرون أننا كى نصل لتصور مقنــع عن الكون، مازلنا بحاجة لنظريات أخرى مختلفة تمامًا حتى نفسر ما فشلت فيه نظرية التضخم فى صياغتها الأولى. وكان ليند ما يزال مقتنعًا بإمكانيــة تحسين نظرية التضخم للتغلب على تلك المشكلة. وفى إحدى الليالى قفــزت إلى ذهنه فكرة أثناء تحدثه فى التليفون مع أحد أصدقائه، وكــان قــد أخــذ التليفون إلى الحمام كى لا يزعج زوجته التى قد أوت للفراش بالفعل، وبــدأ ليند لا يعير اهتماماً لمحدثه عندما جاءته فكرة احتمال وجود معالجة أخــرى للتضخم، فأسقط التليفون من يده تاركًا صديقه معلقًا على الخط، واندفع لغرفة النوم ليوقظ زوجته قائلا لها وهو فى قمة الإثارة: "أعتقد أننى أعرف كيــف يدأ الكون".

كان الشيء الرئيسى الذى اهتدى إليه ليند أنه قد افترض قبل ذلك أن كل الطاقة التى فى الفراغ يجب أن تتضخم لتصبح الكون الأوّلى، وتساءل: ما الموقف إذا لم يحدث ذلك؟ إننا إذا افترضنا تحرر كل الطاقة التى فى الفراغ على النحو الذى يحدث لفقاقيع الغاز وهى تنطلق من زجاجة مياه غازية عند فتحها، حيث تتدافع فقاقيع الغاز ـ وليس فقاعة واحدة ـ نحو قمة الزجاجة، فلماذا لا نتصور أن الطاقة فى الفراغ قد انقسمت إلى مليارات الفقاقيع الصغيرة، وأن واحدة منها فقط تمددت لتصبح الكون الذى نعيش فيه؟ وعندما عمل ليند على المعادلات، وجد أن بإمكانه ـ وقتها ـ الحصول على نموذج للكون يتوافق مع الكون الذى نعيش فيه. وبدا أنه استحق التباهى أمام زوجته.

إلا أن سؤالاً واضحًا ظل بحاجة إلى إجابة؛ إذ لو كانت فقاعة واحدة من الطاقة فى الفراغ قد تضخمت لتنتج الكون، فما الذى حدث لكل الفقاقيع الأخرى؟ إذ لكل فقاعة بالطبع إمكانية التضخم نفسها لتصبح كوناً كالذى نحيا به. وكان هناك خياران من الناحية المنطقية: فإما أن كل فقاعة صارت كوناً خارج كوننا بحيث لا يمكننا كشفه أو رؤيته؛ أو أن هناك عاملاً إضافيًا لعب دوراً أدى لإلغاء كل الفقاقيع الأخرى لينجو الكون الذى نعرفه فقط. وبسبب عدم وجود طريق طبيعى لظهور هذا العامل من المعادلات، التى تنبأت بالتضخم وفسرته، فيبدو أننا بحاجة للعثور على قانون فيزيائى جديد.

مرة أخرى تأخر ليند فى نشر فكرته عن الأكوان المتعددة بسبب الأسلوب الروسى فى تقييم العلم الجيد، ورغم أنه توصل إلى نظريته قبل نظرائه، فإن

اثنين من الأمريكيين العاملين على نظرية التضخم نشرا بحثًا يشـــرح هـــذه الفكرة، وكان القصور فيها أقل مما كان فى نسخة ليند، ويئس ليند من سماح رئاسته له بممارسة الفيزياء النظرية بتفتح وسهولة كزملائه فى الغــرب، إلا أن أفكاره قد تم الاعتراف بها من قِبَل علماء الكونيات على مستوى العـــالم. كما تم الاعتراف بأنه هو الذى توصل إلى النسخة الثانية من نظرية التضخم. ورغم ذلك، لم تكن له الشهرة الكافية لدى علماء الكونيات الآخـــرين، الـــذى كان منهم ستيفين هوكينج. ففى عام ١٩٨١ حضر ستيفين مؤتمراً عالمياً فى موسكو، ووجد المترجمون صعوبة فى فهمه، إذ كان صوته يضمحل بســـبب مرضه، وكانت النقاط الفنية التى أراد مناقشتها تتضمن مرادفات لغوية فنيـــة خاصة لا يفهمها بسهولة سوى عالم كونيات آخر مثله؛ لذا وافق أندريه لينـــد على أن يقوم بالترجمة أثناء إلقاء ستيفين بَحْثَه أمام المؤتمر، وقد أدى ذلـــك لإحراج ليند؛ إذ عندما كشف هوكينج عن مضمون عمله، واضعًا أفكار ليند عن الأكوان المتعددة تحت الفحص، أشار إلى القصور فيها، ونتيجة لذلك كان على ليند أن يوضح لزملائه الروس مَوَاطِن الضعف فى نظريته. ويبـــدو أن ليند وهوكينج قد توجها إلى غرفة ستيفين بالفندق للعمل على المعادلات، ولم يستمر الجدل بينهما طويلاً، فقد كان ليند بالفعل واعياً للقصور الـــذى فـــى نظريته، حيث تمثلت إحدى المشاكل فى عملية نشوء أكوان منفصـــلة مـــن فقاقيع الطاقة، بالإضافة إلى أن الرياضيات تستلزم وجود عدد غير نهائى من الأكوان، الأمر الذى يعنى أن أى سيناريو لما حدث يمكن أن يأخـــذ مكانًـــا ويصير مقبولاً. من ثم، عِوَضًا عن تضييق الخيارات، أصبح لدينا عـــدد لا

نهائى منها، بما فيها احتمال نشوء الكون كما نعرفه. ولأننا نعلم أننا هنا فى هذا الكون من أرصادنا الحالية، من ثم لن تستطيع نظرية الأكوان المتعددة مساعدتنا فى فهم أى شىء وراء ذلك. وإن النظرية التى تسمح بوجود كل الاحتمالات تُعْتَبَر نظرية غير قادرة على التنبؤ، وبالتالى لا ميزة لها.

كان التفسير البديل للنظرية، الذى يسمح لكوننا فقط بالظهور للوجود، تفسيرًا غير مُرضٍ. وإذا لم تكن القوانين الفيزيائية الأساسية تسمح به، فسيصبح ابتكار أحد القوانين التى تسمح بذلك تدميرًا لمصداقية هذه النظرية، وهذا يكافئ القول بأن كل الاحتمالات موجودة مع التقرير بأن كوننا فقط الذى ظهر للوجود لأن قانوناً ما يجعل ذلك ممكنًا! ومرة أخرى ظهر بوضوح أن النظرية لا تتنبأ بشىء.

إخراج الأرنب من القبعة

أدرك ليند كل هذا، وفى الوقت نفسه وجد أن التعامل مع البيروقراطية العلمية فى روسيا أمرٌ تزداد صعوبته، وأصبح محبطًا للغاية مدركًا أنه من المستحيل الإبقاء على حماسه فى الجو العام السائد فى بلاده، وكان تفكيره نحو إيجاد معنى لنظرية التضخم قد بدأ فى الذبول عندما جاءه أمر من السلطات العليا. لقد كان مقرراً له أن يحضر مؤتمراً دوليًا ممثلاً لروسيا؛ وقبل ذلك بأيام تم إخباره بأن من المنتظر منه تقديم بحث عن شىء متميز لاستعراض قيمة العلم ونوعيته فى روسيا، فحمله ذلك على التركيز، وساعده فى أن يخرج

الأرنب من القبعة! ولكنه ــ أيضًا ــ اعتزم الانسحاب من روسيا نهائيًا ليكمل عمله فى الولايات المتحدة الأمريكية.

تمثل "الأرنب" الذى أخرجه ليند فى الصياغة الثالثة المُعَدَّلة لنظرية التضخم، التى شرحها بنوع من الفخار مستخدماً رسومات ملونة على الكمبيوتر الخاص به فى منزله الجديد فى منطقة "ستانفورد"، حيث يقوم بتدريس الفيزياء هو وزوجته هناك فى الجامعة. لقد كان عملاً ثوريًا دعمه القليل من علماء الكونيات، ادعى فيه ــ بشجاعة ــ أنه تخلص من كل مشاكل نظرية الانفجار العظيم، متعرفًا بالتالى على لحظة الخلق، وقد اعتمد على فكرة "المجالات" فى الفيزياء.

يدرك معظم الناس أن خصائص المغناطيسية تتجلى فى المجال المغناطيسى، حيث تعتمد حركة جسيم مشحون كهربائيًا على موضعه فى هذا المجال، وقد اقترح ليند إمكانية إنتاج فقاعات صغيرة من الطاقة تتضخم لتتحول إلى أكوان بشكل مستمر، وذلك فى نوع من المجالات المعروفة باسم "المجالات القياسية"(٥٠)، ومن ثم ستوجد مجموعة من الأكوان ذات خصائص متشابهة ويتصل بعضها ببعض، كأشبه ما تكون بالفقاعات على سطح ماء يغلى، ووَفْق تأثير المجال القياسى عليها، والطريقة التى دفعها بها للوجود، تتطور

(٥٠) يوجد لكل جسيم، فى النظرية الكمية للمجالات، مجال مصاحب له؛ فالفوتون مثلاً يكون المجال المصاحب له مجالاً كهرومغناطيسيًا، والإلكترون يكون مجاله المصاحب ذلك المسمى بمجال "ديراك"، أما المجالات القياسية فهى مجالات مصاحبة لجسيمات ليس لها لف مغزلى ــ أى دوران ذاتى ــ مثل جسيمات "الباى ميزون". (المراجع).

بعض الأكوان بشكل أسرع، أو أبطأ، من غيرها، وسيكون كوننا واحدًا في إحدى تلك المجموعات، الذى تصادف تطوره بالضبط على الطريقة التى نراها.

ويعتقد ليند أنه اكتشف نمط تكون شبكة أبدية من الأكوان، يتطور كل منها طبيعياً من المجال القياسى، بحيث يكون هناك مكان لانفجار عظيم كجزء من الطريقة التى ينشأ بها كل كون، إلا أنها لن تكون مرحلة أساسية، ومن ثم يمكن تجنب مشاكل المفردة التى تمثل عائقًا فى طريق قبولها. وتعين على ليند إقناع العديد من علماء الكونيات بكل مظهر من مظاهر فكرته تلك. ولربما انفرد ليند بفكرة المجال القياسى تلك، إلا أن الأفكار الأساسية للتضخم، الذى نشأ عنه كل شىء، أصبحت مقبولة كعنصر من عناصر تفسير اللحظات الأولى للكون، ولم يتبق سوى إثبات صحتها أو خطئها. وفى حين لم يظهر حتى الآن أى شىء ليؤكدها، فأيضًا لم يظهر أى شىء يُخَطِئُها. وما تزال نظرية التضخم تقدم، كما فعلت دائمًا، صورة مختلفة، مقنعة وذات معنى، على الوجه الآخر للمكعبات، ومن جهة أخرى، فإن أحداً لم يقدم تفسيراً أفضل حتى الآن لكيفية ظهور التمدد الأول للكون.

الفصل الثالث عشر

وتر يربط كل شىء

بقاء الأصلح

عندما غادر "أندريه ليند" وطنه روسيا بشكل نهائى متوجهاً إلــى الولايــات المتحدة، كان ما يزال ممعناً تفكيره فى مشاكل الصــياغة الثانيــة لنظريــة التضخم، حيث تمثلت إحدى تلك المشاكل فى الحاجة لقانون جديد فى الفيزياء يمكِّنه من التخلص مما توقعته النظرية من أكوان زائدة غير مرغوب فيهــا. وانتهى المقام بليند فى جامعة "ستانفورد" بالساحل الغربى من "أمريكا". على الجانب الشرقى للقارة الأمريكية، فى "بنسلفانيا"، كان هناك عالم آخر يفكــر فى قوانين طبيعية أخرى يمكن تطبيقها على علم الكونيــات، إلا أن نقطــة انطلاقه لم تكن من عالم ميكانيكا الكم ونظرية المجالات الكمية ــ اللذين وجد من خلالهما ليند حزماً صغيرة من الطاقة تتضخم فى الفراغ ــ بل لقد عمل "لىْ سمولين" على نتائج رياضيات "أينشتاين" متأملاً فــى الثقــوب الســوداء والمفردات، وفيما أوضحه "ستيفين هوكينج" من أن الكون يجب أن يكون قد نشأ من مفردة.

فكر سمولينْ فى عدد المفردات التى يجب أن توجد فى الكون نتيجــة لكــل الثقوب السوداء التى تم اكتشافها، وتساءل: لماذا لا تتطور كلها أو بعضــها

إلى أكوان جديدة؟ وعندما لم يتمكن من العثور على قانون فيزيائى يوضح ذلك، لجأ لطريقة تفكير أخرى. فى الطبيعة توجد مواقف لا تعطى فيها نتائج موضوع ما فكرة عن الشيء الذى بدأ به، وفى علم الأحياء يوجد ما لا حصر له من الأمثلة، فالسمك يضع ملايين البيض لأنه فى الحقيقة سيتم إخصاب القليل منها فقط، كما أن العديد من صغار السمك سيؤكل، أو لا يصل إلى النضج لسبب أو لآخر، وفى الإنسان ومعظم الثدييات يحتاج الأمر لملايين الحيوانات المنوية لضمان وصول واحد منها فقط، فى نهاية رحلة محفوفة بالمخاطر، لإخصاب البويضة، التى سينمو منها الجنين. إن ذلك كله يُشكل جزءاً من قانون بيولوجى يُعرَف بقانون "البقاء للأصلح"، الذى يمثل الفكرة المحورية فى ديناميكيات عملية التطور التى وضعها "تشارلز داروين"، والتى أعطتنا ذلك النمط المعقد الغنى للحياة على كوكب الأرض. (راجع الصورة رقم ٣٠).

لقد تساءل لى سمولين عن إمكانية تطبيق مثل هذا القانون على تطور الكون! إذ ربما حدث خلال تاريخ الكون إنتاج العديد من المفردات، ولكن قُدِّر لواحدة منها فقط الحياة، تماماً كالحيوان المنوى الذى يخصب البويضة، وبالتالى فإن أصلح تلك المفردات آلت فى النهاية إلى الكون الذى نعرفه.

نظرية كل الأشياء

رغم أن فلسفة لى سمولين تبدو وكأنها تقدم حلاً شائقاً لمشكلة تعدد الأكوان التى أثارها ليند، إلا أنها لم تلق دعماً يُذكر من علماء الكونيات، كما أنها لا

تُقَدِّم نفسها كنظرية يمكن أن تحتضنها معادلات وبراهين الفيزياء، وبالطبع فإن معظم علماء الكونيات يريدون العثور على وصف للكون يحتضن كافة الأفكار فى إطار قوانين الفيزياء التى يعرفونها ــ وهم بالفعل قد اقتربوا جداً من تحقيق هذا الطموح ــ الأمر الذى بدت معه، بالنسبة لمعظمهم، مسألة استدعاء قانون من فرع علمى مختلف تمامًا، أمرًا غير ضرورى. كما أدرك الفيزيائيون وجود عقبة أساسية كان عليهم تخطيها قبل أن تقدم علومهم شرحًا كاملاً لكيفية عمل كل الأشياء. تمثلت تلك المشكلة فى نقطة الاختلاف بين فيزياء النُّظُم الكبيرة (النسبية) وفيزياء النُّظُم الصغيرة (ميكانيكا الكم)، حيث بدا الأمر كحفر نفق ضخم بكل عناية وإحكام: فإن بدأ العمل من كلتا الناحيتين، وتقدم بجهد وفق خطة مسبقة مرسومة بكفاءة، فإننا سنواجه مشكلة إن لم يتقابل النفقان فى منتصف الطريق.

تقع النظرية النسبية العامة لأينشتاين على أحد طرفى النفق، وقد حققت عملاً رائعاً لوصف ديناميكا الكون على المستوى الكبير، وتعمل معادلاتها عن الجاذبية بكفاءة، لدرجة أن كل المدارات المرصودة لكواكب المجموعة الشمسية أصبح من الممكن التنبؤ بها بدقة، بغض النظر عن المسافات الهائلة بينها، كما أنه لو أمكن اكتشاف الكميات الحقيقية للمادة المظلمة، بكل خصائصها المناسبة، فإن معادلات النسبية العامة سيمكنها أن تفسر بكفاءة حركة كل المجرات. وعند الطرف الثانى للنفق، قدمت ميكانيكا الكم عملاً ثريًا يصف سلوك الجسيمات تحت الذرية، وتم التأكد بدقة من صحة قواعدها النظرية، مثل مبدأ "عدم التحديد" "لهيزنبيرج" وفكرة "الطبيعة المزدوجة:

الموجية والجسيمية"، عن طريق ما رصدناه فى معجلات الجسـيمات. لكـن عندما حاول الفيزيائيون المزاوجة بين هاتين الفكرتين العظيمتين للفيزياء عند النقطة التى يجب أن تلتقيا فيها، بدا أنهما غير منسجمتين. إذ إن فيزياء النظم الكبيرة فى الكون (التى تحكمها الجاذبية، والتى نبتت من مفـردة ضـئيلة) تحتاج لاحتضان فيزياء النظم الصغيرة لميكانيكا الكم من أجل شرح كيفيـة ظهور المفردة، وكيفية ميلاد الانفجار العظيم منها.

لقد أُطلق اسم "نظرية كل الأشياء" على هذا النوع من البحث عن العلاقة بين طرفى الفيزياء. وتقضى الفرضية بأنه حال اكتشاف النظرية، فإن الفيزيائيين سيصبحون قادرين على وصف كيف تعمل كل الأشياء فى الكون، وسـوف تحتوى تلك النظرية على وصف لكل القوى الطبيعية[٥١] المعروفة، وكيفيـة تأثيرها فى عمل الذرة وديناميكا الكون. لقد أدرك أينشتاين من قبـل أهميـة اكتشاف المعادلات الخاصة بذلك، وكان على قناعة بأنها قابلة للتبسيط فـى النهاية لشكل مختصر للغاية، كأشبه ما يكون بمعادلتـه ط = ك ع٢، ولقـد أمضى بالفعل السنوات الأخيرة من عمره فى جامعة "برينسـتون" متفرغـاً للعمل فى محاولة العثور على نظرية كل الأشياء، حتى إنه يوم وفاته عُثـر على أوراق فوق مكتبه دُوِّنت عليها حسابات لبعض المعادلات. إلا أنه حتى اليوم لم ير أحد أية علامة بين كل تلك الحسابات تشير إلى أنه كان قريبًا من اكتشاف ما كان يبحث عنه.

---

(٥١) القوى الطبيعية المعروفة التى تعمل فى الكون هى: الجاذبيـة والكهرومغناطيسـية والنووية الضعيفة والنووية القوية. (المترجم).

أوتار الكواركات

مضت بضع سنوات بعد وفاة أينشتاين قبل أن يبزغ أحد الاحتمالات الواعدة؛ إذ بدأ فيزيائيو الجسيمات الأولية فى أوائل الستينيات فى العمل على أساس وجود فئة أشد صغراً من الجسيمات تحت الذرية، التى تظهر فى معجلات الجسيمات، وفى نهاية المطاف تم التنبؤ بفئة من ستة جسيمات، أطلقوا عليها "الكوارْكَات". كانت الفكرة الأساسية أن تلك الجسيمات ذات خصائص مختلفة، ويمكن أن تصطف فى مجموعات ثلاثية مكونة الخواص الأساسية للجسيمات فى المستوى التالى للمادة(٥٢). وظل الأمر على هذا النحو لفترة، حيث كانت الكواركات مجرد توقع لنظرية مبنية بإحكام. لكن بمجرد أن قام الدليل العملى على دعم تلك النظرية، انتاب الفيزيائيين حيرةٌ فى البداية، إذ لسبب ما بدا أنه من المستحيل رؤية "كوارك" بمفرده؛ حيث لابد وأن توجد مرتبطة معًا بطريقة ما.

نمت فكرة تقضى بأن الجسيمات الأكبر، التى تتكون من كواركات، ما هى إلا قطع صغيرة من أوتار(٥٣) تنتهى أطرافها بكوارك، وفى بعض الأحيان تكون الأوتار قطعًا منفردة، وفى أحيان أخرى يتصل طرفاها ليكونا عقدة صغيرة، وفى كلا الحالين لا تنفصل الكواركات لأنها جزء من الوتر الذى

(٥٢) المستوى التالى هنا هو الجسيمات، مثل النيوترون والبروتون، والتى يتكون كل منها من كواركات (ثلاثة أو أكثر، وهو أمر لم يتم حسمه بعد). (المراجع).

(٣) يصدر لى قريبًا بإذن الله كتاب باللغة العربية عن نظرية الأوتار، باعتبارها جبهة الفيزياء الحديثة للقرن الحادى والعشرين. (المترجم).

يمسك اثنان منهما بطرفيه. وبناءً على طبيعة الكواركات الثلاثة، التى تشكل جزءًا من الأطوال والعقد الصغيرة للوتر، يتذبذب الوتر بطريقة مميزة، محدداً بتردده خصائص سلوك الجسيم المتكون من اتحاد تلك الكواركات معًا. لذلك تم إطلاق أسماء غير علمية بالمرة لوصف إسهام الكواركات فى ديناميكا الجُسيم بشكل عام، أسماء مثل: "قمة" و"قاع"، "فوقى" و"تحتى"، "غريب" و"ساحر". من ثم، أصبحت الرؤية الجديدة للجسيم متمثلةً فى أوتار تتذبذب بشكل يساهم فى إظهار القوى المرصودة داخل الذرة، وليست كنقاط منفردة.

مهما كانت غرابة نظرية الأوتار، إلا أنها تُبَسِّط الحسابات الداخلة فى استنباط دور الجسيمات فى بناء النُّظُم الأكبر، ولم يكن هذا كله ليعنى شيئًا بالنسبة لعلماء الكونيات لولا تلك النوعية من الرياضيات التى تحتويها الطريقة الجديدة فى النظر للجسيمات تحت الذرية. كانت تلك هى رياضيات الطوبوغرافيا (ذلك الفرع من الرياضيات الذى بنى عليه "ستيفين هوكينج" و"روجر بنروز" نظرياتهما لشرح المفردة الموجودة بمركز الثقب الأسود وعند بداية الكون) وبالتبعية، اعتمدت تلك الرياضيات على معادلات أينشتاين، التى تصف الجاذبية، وبالتالى، فإن علم الطوبوغرافيا يحتوى على الرياضيات المستخدمة فى النسبية والجاذبية، وكذلك الرياضيات المستخدمة لدراسة الجسيمات تحت الذرية التى توصف باستخدام نظرية الأوتار. فهل يعنى هذا أن نظرية الأوتار والطوبوغرافيا يحتويان، بطريقة ما، على

النظرية المُحَيِّرة عن كل الأشياء، أى النظرية التى ستوحد فروع الفيزياء، والتى ربما شرحت لنا فى النهاية لحظة بداية الكون؟

البُعد الحادى عشر

تحكى إحدى الروايات أن فيزيائيًا كان يتصفح موسوعة للرياضيات أثناء رحلة نهرية فى "اليونان"، فوقع نظره أولاً على صيغة عن الجاذبية، ضمن مئات المعادلات فى مجال الطوبوغرافيا، التى تتضمن نظرية الأوتار، ثم رأى معادلات تصف القوى الكهرومغناطيسية، التى تمثل قلب الفيزياء تحت الذرية. وأياً ما يكون الربط الذى تم بين ما تصفحه، فقد أخذ الفيزيائيون، الباحثون عن نظرية كل الأشياء، على عاتقهم عبء محاولة العثور على طريق عبر المعادلات العديدة المعقدة المتضمنة فى نظرية الأوتار. فى البداية، كانت الإثارة كبيرة والآمال عريضة فى الوصول لصيغة تشرح اللحظات الأولى من عمر الكون، لكن مع مطلع الثمانينيات لم تُكتشف أية بوادر واعدة، وبدأت رياضيات نظرية الأوتار ــ شديدة التعقيد ــ فى بسط ظلها الكئيب على الفيزيائيين العاملين عليها.

كان على رياضيات الأوتار أن تأخذ فى اعتبارها أربعة أبعاد على الأقل، حيث يتضمن تذبذب الأوتار بالضرورة حركات عبر المكان والزمان، فأولاً، هناك الأبعاد المكانية الثلاثة: تصور مثلاً صندوقًا له طول وعرض وارتفاع، ثم زِدْ إلى ذلك البعد الزمنى الإضافى، الذى لن يكون من الصعب تخيله إذا تصورت أن الصندوق قد تم حمله من غرفة لأخرى؛ فإنه ساعتها لن يتغير

أى من طوله ولا عرضه ولا ارتفاعه، ولكنه سيغير وضعه الكلى فى الزمن الذى استغرقه فى التحرك من غرفة لأخرى مجاورة.

مع الأسف، لا تتوافق رياضيات الأوتار مع تلك الأبعاد الأربعة. لقد كان الأمر سهلاً عند تخيل التغير الذى طرأ على الصندوق بتغير مكانه فى الزمان، ولكن هل سيكون هناك إمكانية لأن تحدث تغييرات للصندوق بخلاف تلك الأبعاد الأربعة؟ إن معظمنا سيجد ذلك أمراً بالغ الصعوبة، ومع ذلك، تتنبأ رياضيات الأوتار ببعد خامس ـ وأنواع أخرى من التغيرات ـ بحيث تصبح طريقة تصور أوجه السلوك المختلفة أكثر سهولة إذا كان هناك بُعد خامس وسادس وسابع، وهكذا. ورغم صعوبة تصور تلك الهندسة، إلا أنه يجب أن نتعامل معها من أجل تصنيف معادلات نظرية الأوتار. ويقبل معظم خبراء نظرية الأوتار ـ حاليًا ـ وجود أحد عشر بُعدًا على الأقل تتضمنها النظرية!

أدى هذا، فى حد ذاته، إلى حسابات معقدة جداً، بل وغير مشجعة، وبدت الجهود الجبارة للعثور على طريق عبر متاهة آلاف من المعادلات، كأنها تُفضِى للاشىء، وبدأ يتضح لبعض الفيزيائيين أنهم قد ضلوا السبيل فى مستنقع كبير من الأرقام. وبمثل ما حدث مع نظرية الأكوان اللانهائية العدد، تنبأت النظرية باحتمالات شتى، وبالتالى فشلت فى تقديم صيغة ذات معنى لأى شىء. وأعقب الشغف الأول للعمل على النظرية، خيبة أمل لا يمكن تجنبها، وفقد بعض علماء الكونيات من الفيزيائيين إيمانهم بقوة نظرية الأوتار كوسيلة للإسهام فى حل آخر أسرار الكون. ولولا إصرار بعض المؤيدين

أصحاب العزيمة، الذين ما برحوا يبحثون عن طريق للأمام، لكُتِب على نظرية الأوتار القبر والنسيان.

النظرية "إم"

كان "إدْ وِيتين" أحد أولئك الذين لم يتخلوا عن نظرية الأوتار، وهو يعمل أستاذًا بمعهد الدراسات المتقدمة فى "برينستون"، ويطلق عليه بعض الفيزيائيين ـ بشىء من المداعبة ـ لقب "البابا"، فى اعتراف واضح منهم بقدراته وموقعه الذى يشغله فى الموضوع. وإن كان لأحد أن يجد مسلكًا فى نظرية الأوتار، فإن إد ويتين، فى عيون زملائه، رجل هذه المهمة. لقد أعاد الرجل الروح للاهتمام بإمكان بزوغ "نظرية كل الأشياء" من الشبكة المعقدة لنظرية الأوتار مع بداية التسعينيات، حيث أشار إلى أن المعادلات الكثيرة المتضمنة ما هى إلا "صورة المرآة" لمعادلات أخرى، وأطلق على تلك الأزواج من المعادلات اسم "المزدوجات"، ثم شرع فى محاولة للتعرف عليها، فظهرت تلك المزدوجات بنمطية فى أبعاد مختلفة وبدور متباين فى كل بُعد منها. على سبيل المثال، فإن تأثيراً قويًا فى بُعد ما سيكون له شريكه المزدوج كتأثير ضعيف فى بُعد آخر.

بناءً على ذلك، بدأ إد ويتين فى رؤية ما يمكن حدوثه إن قام بملاشاة أكبر عدد من المزدوجات التى يمكنه العثور عليها. ولربما عرضت تلك المزدوجات محوراً مشتركاً، إن كانت مرتبطة معًا، أى ربما كان هناك "جذع شجرة مركزى" لنظرية الأوتار. وآمن ويتين بوجود صورة لها معنى أفضل،

فأطلق على طريقته تلك اسم "نظرية إم"، التى هى فى حد ذاتها تحسين لتحسين تم إدخاله على نظرية الأوتار، المسمى "بنظرية الأوتار الفائقة". ويثق إد ويتين أنه عقب تبسيط كل الرياضيات بعناية ستظهر معادلة ذات طول معقول فى النهاية، بحيث تقوم – بحق – بتوحيد شقى الفيزياء: أى ظهور نظرية كل الأشياء لتشرح ديناميكية بداية الكون.

لكن كيف لنا أن نتأكد، إن تم ذلك فعلاً بطريقة ما، إنها الإجابة النهائية عن التساؤل القديم؟ إن كل ما نستطيع أن نأمل فيه وجود صورة أخرى على الوجه الآخر، أى نظرية أخرى مناسبة تظهر كنتيجة للمعادلات التى تبزغ من "النظرية إم"، وليس هناك ضمان أكيد على وجود تلك الصورة. ومن المتصور – بالطبع – أن يحدث ذلك لأى نظرية أخرى قد تظهر، عندما يعاد فحصها واختبارها مرارًا. على كل، فإن قوة العلم تكمن فى عدم اعتداده بشىء دون التوثيق العملى له؛ ويبدو أن إيجاد تجربة تدلل على صحة نظرية كل الأشياء يُعد أمراً عسيراً بعض الشىء.

مشروع "المكتشف بلانك"

يا للعجب، فرغم محدودية ما يمكننا رصده من الكون، يجرى – الآن – الإعداد لتجربة ربما ساعدت – على الأقل – فى التخلص من أية أفكار خطأ؛ حيث يتم الآن بناء قمر صناعى لإعادة التجربة التى سبق قيام "كوبى" بها، ولكن بمجسات أكثر حساسية من ذى قبل، وبالطبع لن تكون هناك إمكانية لرؤية أبعد فى الماضى بأكثر مما عرفناه، أو الاقتراب أكثر من

لحظة الانفجار العظيم ذاته، إلا أنه من المتصور أن هذا القمر الجديد سيكون قادراً على دراسة الخلفية الإشعاعية التى كشفها "كوبى" بشىء من التـدقيق، ولربما أمكنه التقاط اختلافات أدق فى درجات الحرارة. سُمى هـذا القمـر الصناعى: "المكتشف بلانك"، نسبة للعالم الألمانى البارز "مـاكسْ بلانـك"، وليس اسماً مركباً هذه المرة!

تقوم وكالة الفضاء الأوروبية (إيسا)[٥٤] ببناء هذا القمر الصـناعى، الـذى سيُنتج صورة بالكمبيوتر، تماماً مثل القمر الصناعى "كوبى"، بهدف مقارنتها مع عدد من صور الكمبيوتر التى تم إعدادها بالفعل بنـاءً علـى النمـاذج النظرية العديدة عن الكون[٥٥]، النماذج التى يفترض كل منها صحة إحـدى النظريات عن بداية الكون. وفى سبيل رسم تلك الصور، يقـوم المنظـرون بصياغة رياضيات إحدى تلك النظريات بعناية كنموذج على الكمبيوتر يعتمد على الزمن ليوضح الطريقة التى يمكن أن يكون الكون قد نشأ بها، وكيـف تطور. وفى كل مرة، تخرج صورة تتوقع الإشعاع الخلفى وتختلف تماماً عن غيرها. فنجد أن إحدى النظريات ستحتاج لعدد مـن المسـاحات السـاخنة الضخمة مثلاً، إن كانت ستؤدى إلى الكون الذى نعرفه؛ بينما تصبح نظريـة أخرى صحيحة إن كان هناك عناقيد كبيرة من البقع الساخنة الصغيرة.

لنأخذ مثلاً نسخة أندريه ليند عن نظرية التضخم، التى تتنبأ بعدد لا نهائى من الأكوان التى نعيش نحن فى أحدها.. فسيقوم صانعو نماذج الكمبيوتر ببنـاء

(٥٤) اختصار للكلمات : European Space Agency (ESA) . (المترجم).
(٥٥) عن طريق استخدام أسلوب المحاكاة. (المترجم).

نموذج للخلفية الإشعاعية التى تتوقعها هذه النظرية، وبمجـرد أن يعطـيهم "المكتشف بلانك" الخريطة الحقيقية، سيكون باستطاعتهم التأكـد إن كانـت الصورة التى تم رصدها تتوافق مع الصورة النظرية عن كـون نشـأ مـن تضخم متعدد الأكوان، أم لا. ومن المحتمل وجود اختلافـات حاسـمة فـى الخريطتين؛ إذ قد تتطلب النظرية أنماطًا فى الخلفية الإشعاعية ليست ببساطة جزءًا من الحقيقة التى سيرصدها القمر الصناعى الجديد. وبهـذا الأسـلوب سيساعد "المكتشف بلانك" فى حذف عدد من النظريات عن نشـأة الكـون، ولربما ترك لنا فى النهاية احتمالاً واحداً مقبولاً. لقد أوضحت النماذج التـى بناها الكمبيوتر بالفعل أن صورة الخلفية الإشعاعية ستبدو مختلفة تماماً فـى أربعة ظروف متباينة، فمثلاً، ستكون صورة التباينات فى الخلفية الإشعاعية فى كون نشأ من نظرية الأوتار، مختلفة بوضوح عن خريطة لكون نشأ من نظرية الأكوان المتعددة، وهكذا.

مهما كانت نتائج مشروع "المكتشف بلانك"، فإن أفضل ما يمكن أن نتمنـاه يتمثل فى إثبات أن بعض النظريات عن نشأة الكـون لا يمكـن أن تكـون صالحة للاستخدام فى فهم الكون الذى نعيش فيه، ذلك أن وجود اتفاق لنظرية ما مع أرصاد القمر لا يعنى بالضرورة أنها النظرية الوحيدة التى يمكـن أن تكون صحيحة، ومع اقترابنا من فهم كيفية نشأة الكون، فإن إثبـات صـحة نظرية بعينها سيصبح أمرًا تزداد صعوبته تدريجيًا.

ترك هذا الأمر علماء الكونيات على وفاق واختلاف فـى آن واحـد، فهـم متفقون على أن نظرية واحدة واعدة تبدو كما لو كانت ستقدم إسهامات نافعة،

وربما اتفقوا ـ أيضًا ـ على أن نظرية أخرى يمكن أن تُشكل طريقًا لمدخل قد يؤدى لحل مشكلة معينة. وهم حريصون ـ عادة ـ على عدم رفض أية فكرة ذكية بين أيديهم، وعلى هذا فسيعترف معظمهم بتميز كل من نظرية التضخم ونظرية الأوتار فى بحثهما عن شرح لبداية الكون، كما سيتفق العديد منهم على أننا قريبون جدًا من العثور على ذلك الشرح. إلا أن هذا الوفاق يتجه نحو الاضمحلال؛ إذ هناك العديد من الأفكار الفردية لعلماء كونيات، تتزاوج فيها مفاهيم من نظريات أخرى مختلفة لتُحَسِّن تلك الأفكار، لكنها فشلت ـ حتى الآن ـ فى اكتساب دعم زملائهم من العلماء، ولا يستثنى من ذلك ستيفين هوكينج نفسه.

الفصل الرابع عشر

الكون كما يتصوره ستيفين هوكينج

عندما أذاع "جورجْ سموتْ" الصورة الملونة ذات اللونين الأزرق والقرمزى، التى رسمها الكمبيوتر لتكشف عن التموجات[٥٦] فى الكون، تصدرت الصفحات الأولى للجرائد فى كل أنحاء العالم. ومن الصعوبة أن تجد تجربة فى علم الكونيات حققت تلك الشهرة فى وسائل الإعلام، حيث يرجع ذلك ـ جزئيًا ـ للتعليق الذى أدلى به "ستيفين هوكينج" داعِماً تلك الصورة فى معظم الصحف. وما كان لستيفين أن يتأنق فى اختيار كلماته، حيث قال: "إنها أعظم اكتشافات القرن، إن لم تكن أعظم الاكتشافات على مر العصور".

وقت إعلان هذا الاكتشاف فى أبريل ١٩٩٢، كان ستيفين مشهوراً ـ بالفعل ـ على مستوى العالم بعد النجاح غير المسبوق لكتابه "موجز تاريخ الزمن"، وبعد نشر الكتاب بأربع سنوات كان اهتمام الناس بعلم الكونيات قد بلغ ذروته، وعلى هذا، لم يكن ستيفين بحاجة لإحداث ضجة إعلامية لجذب الانتباه إليه ولكتابه، بل لقد كان مسرورًا بصدق لنجاح "كوبى"، الذى أعطت نتائجه دعماً كبيراً لنظرية الانفجار العظيم، لدرجة أن القصص حول ذلك قد تصدرت الصفحات الأولى للجرائد. كما أنها قدمت شيئاً عظيمًا آخر له

(٥٦) المقصود هنا وجود مناطق باردة وأخرى ساخنة فى الفراغ الكونى. (المراجع).

أهميته عند ستيفين؛ إذ أوضحت نتائج "كوبى" وجود تفاوتات ضـــئيلة فـــى النسيج الحرارى عند بداية الكون أدت إلى اختلافات فى درجة حرارة الخلفية الإشعاعية التى تم رصدها، وإذا كانت مقترحات ستيفين عن اللحظات الأولى للكون صحيحة، كان من الضرورى أن توجد تلك التفاوتات، لتسمح بالتـــالى بولادة المجرات والفراغات التى نراها اليوم فى الكون.

نظرية "الجاذبية الكمية" و"الزمن التخيلى"

تعامل ستيفين فى علم الكون ــ دائمًا ــ مع فيزياء النظم الكبيرة، وجــاءت نظرياته عن المفردة كنتيجة مباشرة لرياضيات أينشتاين؛ ورغم ما أعطتــه أعماله من دعم لنظرية الانفجار الكبير، إلا أنهــا كانــت ــ أيضــاً ــ ذات استتباعات مقلقة. فكما رأينا من قبل أن قوانين الفيزياء، التى توقعت المفردة، لم تصلح للتطبيق عليها، الأمر الذى جعل مــن قضــية اســتخدام المبــادئ الأساسية فى الفيزياء لتفسير اللحظات الأولى فى عمر الكــون أمــرًا بــالغ الصعوبة، ولقد عمل ستيفين جاهداً على حل تلك المشكلة، وتوصل بالفعــل لحل جرىء ومدهش، قد يبدو للوهلة الأولى مناقضًا لكل أعمالــه الســابقة، تمثل ذلك فى اقتراح مسار لا تُشكِّل فيه تأثيرات المفردة ــ التى نشأ عنهــا الكون ــ جزءاً من الطريق الذى سلكه الكون خلال تطوره!

يبدأ اقتراح ستيفين عن تطور الكون بــالتعرف علــى الأهميــة القصــوى والأساسية للجاذبية، لأن الطريقة التى تؤثر بها الجاذبية فى كل شىء متحرك فى الفراغ والزمان هى مجال التوقعات الأساسية الواضحة للنظرية النســبية

العامة لأينشتاين. لكن ماذا يحدث للجاذبية فى عالم الكم، حيث فيزياء النظم الصغيرة ذات الكثافات الكبيرة؟

إن الافتراض الأكثر قبولاً فى قوانين ميكانيكا الكم، والمُطبَّق على الجسيمات تحت الذرية، يجب أن ينطبق على أى شىء آخر له حجم تحت ذرى، وبما أن الكون فى بدايته كان محتويًا على مادة وقوى كثيفة للغاية وصغيرة جدًا، فإن الجاذبية ــ ومعها كل الأشياء الأخرى فى الكون(٥٧) ــ كانت ستُحْكَم بقوانين ميكانيكا الكم عند تلك المرحلة. على ذلك، فهناك حاجة لنظرية "جاذبية كمية" تربط الطريقة التى نفهم بها الجاذبية فى النسبية العامة مع الأفكار الخاصة "بالطبيعة الازدواجية الموجية الجسيمية" و"مبدأ عدم التحديد"، اللذين يشكلان قلب ميكانيكا الكم. وفى ضوء ذلك، ربما حصلنا على "نظرية كل شىء" التى كان يبحث عنها منظرو نظرية الأوتار.

يشير ستيفين إلى أنه حتى لو لم نعثر على نظرية مقنعة، فما يزال بإمكاننا توقع ما ستكون عليه بعض تأثيراتها. وبالتالى، يمكننا البدء فى وضع علم كونيات كمى: أى مجموعة الشروط الكمية(٥٨) التى يمكن أن ينمو الكون من خلالها.

إذا كان لنا أن نجد صيغة فعالة تسمح ببدء تلك العملية، فسيكون من المستحيل الاعتماد على الرياضيات التقليدية للزمان والمكان، فقد عرفنا

---

(٥٧) المَعْنىُّ هنا هو المجالات الطبيعية الأخرى مثل المجال الكهرومغناطيسى ومجالات القوى النووية ــ الضعيفة والقوية. (المراجع).

(٥٨) أى الشروط التى تمليها نظرية ميكانيكا الكم. (المراجع).

بالفعل أن القوانين التى تحكمها تلك الرياضيات تتحطم عند نقطة المفــردة، التى سبق أن توقعت القوانين أنها النقطة التى بدأ بها الكون، وعلى هذا يجب استحداث أسلوب آخر لصياغة المعادلات.

استخدم ستيفين مبدأ "التجميع على المســارات"، الــذى اقترحــه الفيزيــائى الأمريكى "رينتشاردْ فاينْمان"، للحصول على أسلوب أفضل، وهذا المبدأ يعنى بشكل أساسى أن ننظر فى أمر الطرق المتعددة والممكنة لسلوك شيء ما، ثم نراجعها لنحذف أقلها احتمالاً، وبالتالى نصل للطريق الأكثر احتمالاً لنحصل على الحل الصحيح.. يمكن تمثيل ذلك بمحاولة إرسال خطاب بالبريــد مــن "لندن" إلى "نيويورك"، فسنجد أن الخطاب يمكن أن يُرسل مباشرة من لنــدن إلى نيويورك على رحلة جوية، كما يمكن أن يُرسل من لندن إلى "بوسطن"، أو "واشنطن"، قبل أن يُرسل إلى نيويورك، بل من الممكن أن يذهب الخطاب على رحلة جوية إلى "موسكو" أو "طوكيو" قبل أن ينتهى به التجــوال فــى نيويورك، فإذا أخذنا فى الاعتبار تلك الطرق الممكنة كلها، وقمنا بــالتجميع على المسارات لكل احتمالات وصول الخطاب من لنــدن إلــى نيويــورك، فسيكون باستطاعتنا مباشرة حذف المسار عبر موسكو أو طوكيو على أساس أنهما أقل احتمالاً، وبالتالى سوف تنتهى بنا الدراسة إلى أن نأخذ فى الاعتبار الطرق الأكثر احتمالاً فقط.

ومن أجل الحصول على أفضل "حقيبة أدوات" رياضية لتعريف الكون فــى بدايته، فإن عملية "التجميع على المسارات" انتهت إلى اقتراح مسار ربما بدا فى البداية مشكوكاً فيه إذا نظرنا إليه بطريقة محافظة أو تقليدية؛ إذ تبين أن

أفضل طريق للتعامل مع المعادلات يتمثل فى النظر إلى الزمان بالطريقة التى طورها ريتشارد فاينمان ـ أيضا ـ ليجعله أكثر مرونة من وجهة نظر الرياضيات، ويُعرف بالزمن "التخيلى". لكن من ذا الذى يملك القدرة على القول ـ عن اقتناع ـ إنه يعرف الشكل الحقيقى الذى يتخذه الزمن فى صورته التخيلية تلك؟ مع ذلك ليس ثمة مانع علمى يدحض وجود هذا الزمن "التخيلى". ويمكن تشبيه ذلك بالقدرة التى تتيحها الرياضيات لاستخدام الأرقام السالبة، ففى العالم "الحقيقى" لا يمكن أن تقول إن لديك عدداً أقل من "صفر" بيضة داخل صندوق! ولكن بالرياضيات يمكنك أن تفهم نتيجة أن يكون لديك "سالب اثنين" بيضة بالصندوق؛ إذ لو أضفنا لهذا الرقم أربعة لأصبح لدينا بيضتان بالصندوق. وقد تمكن ستيفين باستخدام الزمن التخيلى أن يرتب كل المكونات الضرورية لشرح الكون فى مراحله الأولى، ليصبح بإمكانه مقارنة النتيجة مع تلك التى تنشأ من استخدام الزمن الحقيقى.

بالنظر إلى أكثر النماذج قبولاً، أوضح ستيفين ضرورة وجود ثلاثة خيارات مختلفة لما حدث فى بداية الكون: أولها أن يكون الكون بدأ بانفجار عظيم فى الزمن "الحقيقى"، ويعيب هذا النموذج وجود مشكلة المفردة المُحرجة، التى يجب أن تكون موجودة فى بدايته. والخيار الثانى، باستخدام الزمن الحقيقى ـ أيضًا ـ يقضى بأن الكون كان موجوداً وسيظل للأبد(٥٩)، ولكن لهذا النموذج مشكلته ـ أيضًا ـ حيث لا يستطيع إيضاح كيف جاء الزمان

(٥٩) وهو ما نادت به نظرية "الحالة المستقرة". (المراجع).

والفراغ للوجود وفق تصور أينشتاين. أما الخيار الثالث، الذى يستخدم الزمن "التخيلى"، فهو أن الكون موجود منذ الأزل، وقد أعطى ذلك ستيفين صورة مدهشة، حيث إن لذلك السيناريو نتائج مفيدة، فطالما أن ستيفين يصف الكون فى إطار الزمن التخيلى، فلن تظهر مشكلة المفردة، وسيكون كل ما يلزم لوجود الكون، بما فى ذلك الزمان والمكان ــ كما نفهمهما ــ متاحًا. كما لن تكون هناك بداية أو نهاية للكون، ولن تكون هناك حاجة لمكونات أولية يجب أن تُخلق، كذرة لوميتر مثلاً. وبتجنب كل هذا، أمكن لستيفين تحاشى مشكلة المفردة وتحطم قوانين الفيزياء عندها.

تمثل المكسب الرائع الآخر فى تمكُّن ستيفين، عن طريق وضع قيود خاصة على طبيعة الكون، من أن يعرض لنا كوناً يمكن أن يوجد وفق نظرية الزمن التخيلى ويصبح شبيهاً بالكون الذى نرصده.

كون بغير حدود

أطلق ستيفين على تصوره هذا عن الكون اسم: "نموذج بغير حدود"، حيث أدرك أن كوننا يجب أن يكون بغير حدود لضمان أنه فقط الذى سيتطور من الطبيعة الكمية غير المحددة عند بدايته. لقد ترك باقى الأكوان بدون شروط على تطورها وجعلها متساوية فى إمكانية أن تبدأ من البداية الكمية التى اقترحها. ولا يمثل هذا النموذج ــ من الناحية الفكرية ــ أى تحسين لصياغة أندريه ليند الثانية عن التضخم، التى تقضى بإمكان نشوء عدد لا نهائى من الأكوان، يصبح كوننا أحدها، وهى الصياغة التى فشلت فى توقع كيف ولماذا

أصبح الكون على ما نراه عليه. ويقول ستيفين، إن تلك المشكلة يمكن تجنبها لو أن الكون الكمى تطور بطريقة "كون بغير حدود"، الأمر الذى يعنى بالضرورة عدم وجود حدود ترسم نهاية للمكان أو الزمان، رغم أن الكون ككل له حجم محدود.

كى يسهل استيعاب هذه الفكرة الصعبة، تخيل نفسك سائراً على سطح كرة، كالكرة الأرضية. فمهما مشيت، وأيًا كان اتجاهك، فلن تقابل نهاية لمسارك، وببساطة سيمكنك التحرك دائراً باستمرار حول السطح، وإذا فكرت ملياً فى الأمر، فستجد أن الشىء نفسه ينطبق على الحركة على سطح بالون ضخم بدلاً من الأرض. وفى الحقيقة، فإن السير على السطح الخارجى أو الداخلى للبالون سيعطى النتيجة نفسها. بعبارة أخرى، لن يحتاج نموذج "الكون غير المحدود" لشكل أو حجم معين، بل سيعطى للمكان والزمان ببساطة ذلك النوع من الاتصال دونما حدود، بالضبط كسطح البالون الخارجى أو الداخلى.

ثمة سبب رياضى لذلك؛ إذ لو أن للكون تلك الخاصية التى تجعله "بغير حدود"، فستكون تلك النتيجة أكثر احتمالاً بالنسبة للبداية الكمية التى اقترحها ستيفين هوكينج لشرح اللحظات الأولى فى حياة الكون، كما أن اقتراح "اللاحدود" بإمكانه ــ أيضًا ــ احتضان عدد من النظريات، كنظرية التضخم، التى تبدو صالحة لتفسير بعض من مظاهر الكون عند بدايته. وفى ضوء كل ما سبق، يبدو أن اقتراح ستيفين له مظاهر جذابة كثيرة، لكنها بدون برهان سوى ما يكون للأفكار النظرية الخالصة التى تم اقتراحها كشروح لبداية الكون. ويُصر ستيفين فى كتابه "موجز تاريخ الزمن" على أن اقتراحه هذا لا

يمكن استنتاجه من أية مبادئ أخرى، وهو فى النهاية مجرد احتمال أنشأه ستيفين بمعاونة "جيمْ هارتلْ" من جامعة "كاليفورنيا"، ومن المحتمل أن يكون صحيحًا.

رغم براعة استخدام ستيفين لمبادئ وقوانين عديدة فى فكرته تلك المبنية بمهارة، فقد أدرك أن ثمة مشكلة واحدة لا يمكن تجنبها؛ إذ كان عليه أن يجد طريقاً تصبح فيه الجاذبية خاضعة لقوانين ميكانيكا الكم، وهو الأمر الذى لم يستطع أحد – حتى الآن – الوصول إليه بحيث نحصل على نظرية مُرْضِية عن الجاذبية الكمية. وحتى لو أمكنه تجنب معظم الصعوبات التى واجهته بسبب نظرياته عن المفردة، فإنه لا يستطع ذلك دون أن يكون لديه نظرية عن كل شيء ليوحد الجاذبية مع ميكانيكا الكم.

على أية حال، فبفرض أننا وصلنا فى النهاية لنظرية مرضية عن الجاذبية الكمية، فسيكون ضمن أُسسها وجود تفاوتات ضئيلة فى اللحظات الأولى لميلاد الكون، بالضبط كما فى نموذج ستيفين هوكينج عن الكون؛ إذ سيسمح مبدأ عدم التحديد بحدوثها فى الفراغ، وبعد ذلك، تتحول تلك التفاوتات، وفق نظرية التضخم – التى تسمح للكون الخالد بالتمدد – إلى اختلافات فى درجة الحرارة التى كشفها "كوبى" فى الإشعاع المتبقى من الانفجار الكبير، وعلى هذا فمن الممكن أن تكون نتائج "كوبى" مؤيدة لنموذج ستيفين هوكينج عن الكون.

لقد جاءت الانتقادات الموجهة لهذا النموذج مقترحةً أن كل ما فعله ستيفين لم يكن سوى الالتفاف بطريقة ذكية حول الصعوبات الأساسية للتوفيق بين النسبية وميكانيكا الكم، كما أشارت تلك الانتقادات إلى أن كفاءة تلك الأفكار ترتكز على نظرية "كمية للجاذبية"، والتى لم يكتشفها أحد حتى الآن؛ لذا يجب علينا الانتظار حتى تنتج لنا نظرية الأوتار شيئاً ما. وإذا حدث ذلك فى القريب العاجل، وليس الآجل، فإن قليلاً من الفيزيائيين يقترحون أن ذلك سوف يكتب الفصل الأخير فى كتاب الفيزياء، ومع ذلك نجد "إدْ ويتين" يعلق على ذلك ببصيرة نافذة بقوله: "إن النظرية التى ستكون غنية بما يكفى لتصبح قادرة على أن تكون نظرية عن كل شىء، ستكون من القوة بما يكفى ـ أيضًا ـ لإثارة فئة أخرى من التحديات الجديدة.

رؤيتنا الحالية للكون على مشارف القرن الحادى والعشرين

يحمل تعليق إد ويتين فى طياته اعترافاً واضحاً بأننا ـ على ما يبدو ـ لن نكون أبداً قريبين من، أو بعيدين عن فهم كامل للكون مما نحن عليه الآن، ولربما كنا قريبين من معرفة كل شىء، لكننا أبداً لن نصل لتلك المرحلة التى يمكن أن نعرف فيها ذلك؛ إذ كلما أزلنا قشرة من البصلة ظهرت لنا طبقات أخرى! ولربما كان الحل النهائى لهذا الغموض مخادعاً مثل صعوبة تعريفه. لكن، حتى لو ظللنا فى حيرة من أمر الأجزاء الأولى من الثانية الأولى من الانفجار العظيم، الذى أتى بهذا الكون إلى الوجود، فإن معظم علماء الكونيات ـ بمن فيهم ستيفين هوكينج ـ متفائلون تماماً بسبب التقدم الذى

حققوه بالفعل. على أية حال، فالأمر ليس إلا أمر "الجزء الأول من الثانية الأولى" الذى يتعين علينا شرحه؛ إذ قطعنا بالفعل شوطا كبيراً منذ تلك الفكرة الأولى عن الغطاء ذى الثقوب المحيط بالأرض والذى يظهر من ورائه الضوء المُشع على هيئة نجوم. ويُعتبر فهمنا للكون اليوم نصرًا كبيرًا للرصد العلمى الدقيق والفكر الرياضى المُلهَم. ويبقى نموذج ستيفين هوكينج مختلفاً فى تفاصيل قليلة عن النموذج الذى يحاول الآن علماء الكون تجميعه.

لربما أعطتنا نظرية الأوتار قريباً معادلة تشرح كيف انبثقت الطاقة إلى الفراغ ثم تمددت بسرعة كبيرة وفق نظرية التضخم، وأثناء تمددها هذا، أى أثناء انتشار هذه الطاقة، كانت هناك تفاوتات كمية فى الفراغ أوجبت وجود اختلافات ضئيلة فى الانفجار العظيم الذى أشعلته تلك الطاقة ليظهر بعد ذلك على صورة اختلافات فى درجة الحرارة لا تتعدى ٠,٠٠٢ درجة فى غضون ثلاثمائة ألف سنة عقب الانفجار العظيم، ليكتشفها القمر الصناعى "كوبى" بعد ذلك، بحيث ظلت تلك الاختلافات كافية للسماح بتطور المادة بشكل غير متساوٍ عندما بدأت الحرارة المرتفعة، التى نشأت من الانفجار العظيم، فى الانخفاض.

من المحتمل أن يكون هذا ما حدث بالفعل، فمنذ اللحظة الأولى من الثانية الأولى عقب الانفجار العظيم، بدأت طاقة الانفجار فى إنتاج الجسيمات طويلة العمر من المادة، مثل "الكواركات"، إلا أنها لم تتطور ببساطة فى خطوة واحدة غير قابلة للانعكاس، بل حدثت بينها تصادمات أرجعتها لصورتها الأولى كطاقة محضة، لتعود مرة أخرى إلى جسيمات بطريقة مكررة، كجزء

من رقصة مجنونة للتخليق فى بلازما ساخنة غير قابلة للاختراق، لتنتج فى النهاية ذلك النوع من التصادمات التى ألفناها فى أقوى معجلات الجسيمات. وبعد ثلاث دقائق من الانفجار الكبير بدأت تتشكل تراكيب مادية، كالنُّويَّـات الأولى التى قُدِّر لها أن تصنع الذرات التى بدأت فى التكوُّن، ثـم انخفضـت درجة الحرارة للحد الذى أتاح اتحاد الجسيمات الأولية ببعضها، ولكنها ظلت مفرطة السخونة بحيث استحالت الرؤية عبر ذلك المرجل الأبيض السـاخن للكون الناشئ.

مضت ثلاثمائة ألف سنة أخرى قبل أن يصفو الكـون فـى النهايـة لتبـدأ الإلكترونات فى الدوران حول الأنويـة مُكونـةً الـذرات ــ بنسـبة ٨٠٪ هيدروجين و٢٠٪ هيليوم ــ ثم مضت مليار سـنة أخـرى، بـدأت بعـدها الضغوط الجاذبية فى تكوين أولى النجوم، وهى تلك "الكوازارات"، بالإضافة إلى الكتل المتصارعة من المادة، التـى تحولـت إلـى مجـرات، وانـدمج الهيدروجين فى النجوم الأولى ليصنع الهيليوم ليبدأ الـنجم فـى السـطوع، ومارست الثقوب السوداء فى قلب الكوازارات عملية سحب جذبى هائل للمادة حولها، فبدأت درجة حرارة قرص المادة الدوارة فى الارتفاع لتهب مـيلاداً لنجوم جديدة، أما النجوم القديمة فتم سحبها نحو التكتلات الضخمة من المادة المظلمة التى بدأت تتجمع حول الكوازارات اللامعة، أو ربما سقطت فى تلك العجلات الدائرة الضخمة لتستقر فى الأذرع الحلزونية للمجرات التى نعرفها اليوم جيدًا.

وعندما دنت ساعة النهاية للنجوم الأولى فى دورة حياتها، تكونت أول الأقزام البيضاء، وبدأت تبرد بالتدريج لتتحول إلى أقزام بنية غير مرئية، أما النجوم الأكبر حجمًا، فانفجرت وظهرت المستعرات العظيمة، لتتكون بذلك النجـوم النيوترونية، وانتشرت كل العناصر الثقيلة عبر الكون. وقد وُلـدت شمسـنا وسحبت حولها كواكبها بقوة الجاذبية، وفى نهاية المطاف انخفضت درجـة حرارة الأرض بما يكفى لظهور الحياة عليها، وظهر الكائن البشرى ـ أخيرًا ـ كواحد من أغرب "المنتجات" التى تطورت من غبار النجوم(٦٠). ولم يمض وقت طويل حتى بدأ هذا الكائن فى وضع يديه على مفاتيح، قادته لفهم معظم تفاصيل تلك السلسلة العجيبة من الأحداث التى بدأت منذ حـوالى ١٥ ألـف مليون سنة.

معاينة مشيئة الرب

ربما كان من السهولة أن نرتكب الخطأ نفسه، الذى وقعـت فيـه الأجيـال السابقة، فنظن أن فكرتنا عن الكون هى الأفضل. على كل، لقد بدت نمـاذج بطلميوس ونيوتن فى أيامها صحيحة وغير قابلة للمناقشة، بحيـث يصـبح نموذج الانفجار العظيم، مقارنة بهما، فى طور الطفولة، إلا أن تلك النمـاذج القديمة عن الكون قد ثبت خطؤها من خلال خطوات مثيرة للأمام تعلمناهـا من الأرصاد. ولقد بنى بطلميوس، وعلماء الكون فى زمانه، نموذجاً فعـالاً وعبقرياً للكون عن طريق المشاهدة بالعين المجردة وحدها، ثم أرانا تلسكوب

(٦٠) يعتقد بعض العلماء ـ فى ضوء ما تجمع لديهم من أدلة ـ أن النجوم هى الأجداد الأولى للبشر، الذين تطوروا منها! (المترجم).

جاليليو مزيداً من التفاصيل عن المجموعة الشمسية أثبتت خطأ نموذج بطلميوس، ثم طور نيوتن نظرية عن الجاذبية لتُعطى بدورها معنى لما تم رصده بالنسبة للمجموعة الشمسية، ثم أظهرت أرصاد هابل – لما وراء المجموعة الشمسية – مدى القصور فى نموذج نيوتن الساكن عن كون لا نهائى مستقر، ومن بعد أرصاد هابل، بوقت قليل نسبيًا، وضعنا تلسكوبات فى الفضاء ورصدنا عمق تاريخ الكون لأبعد ما يمكن رؤيته. ويبدو أننا لا نستطيع تطوير أرصادنا بأفضل من ذلك؛ إذ يبدو أننا قد رأينا بالفعل كل ما يمكن رؤيته من الكون المرئى.

بكل تلك المعرفة عن الكون، لن نتحلى بالتواضع إذا قلنا إننا أصبحنا قريبين من فهم ماهيته أو كيفية عمله، ورغم أن ٩٠ ٪ من الكون لم يتم رصده، حيث لم نكتشف كل المادة المظلمة بعد، إلا أن بإمكاننا استنتاج ما يكفى عنها لفهم دورها، وإلى أن نعرف كتلتها الإجمالية، سيبقى مصير الكون النهائى غامضاً، ومع ذلك فلدينا فكرة واضحة عن البدائل المحتملة لنهايته.

يظل كل هذا بعيداً عن القول بأننا قد فهمنا كل شىء عن الكون، فمعرفة تاريخه الديناميكى لم تقدم إجابات عن الأسئلة الفلسفية الخالدة، مثل: لماذا وُجِدَ الكون ابتداء؟ وما الغرض منه؟ فمبادئ العلم وحدها لن يكون بمقدورها الإجابة عن أسئلة كتلك. إلا أن ستيفين هوكينج يثق بأن تطوير علم الكونيات سيُحسن فرصتنا فى الوصول لإجابات جيدة عن مثل تلك الأسئلة؛ إذ إن معرفة كيفية عمل الكون يجب أن تساعدنا فى فهم سبب وجوده، وهل تم خلقه أم لا؟ وهل له غرض أم لا؟ ويصل ستيفين هوكينج فى نهاية كتابه

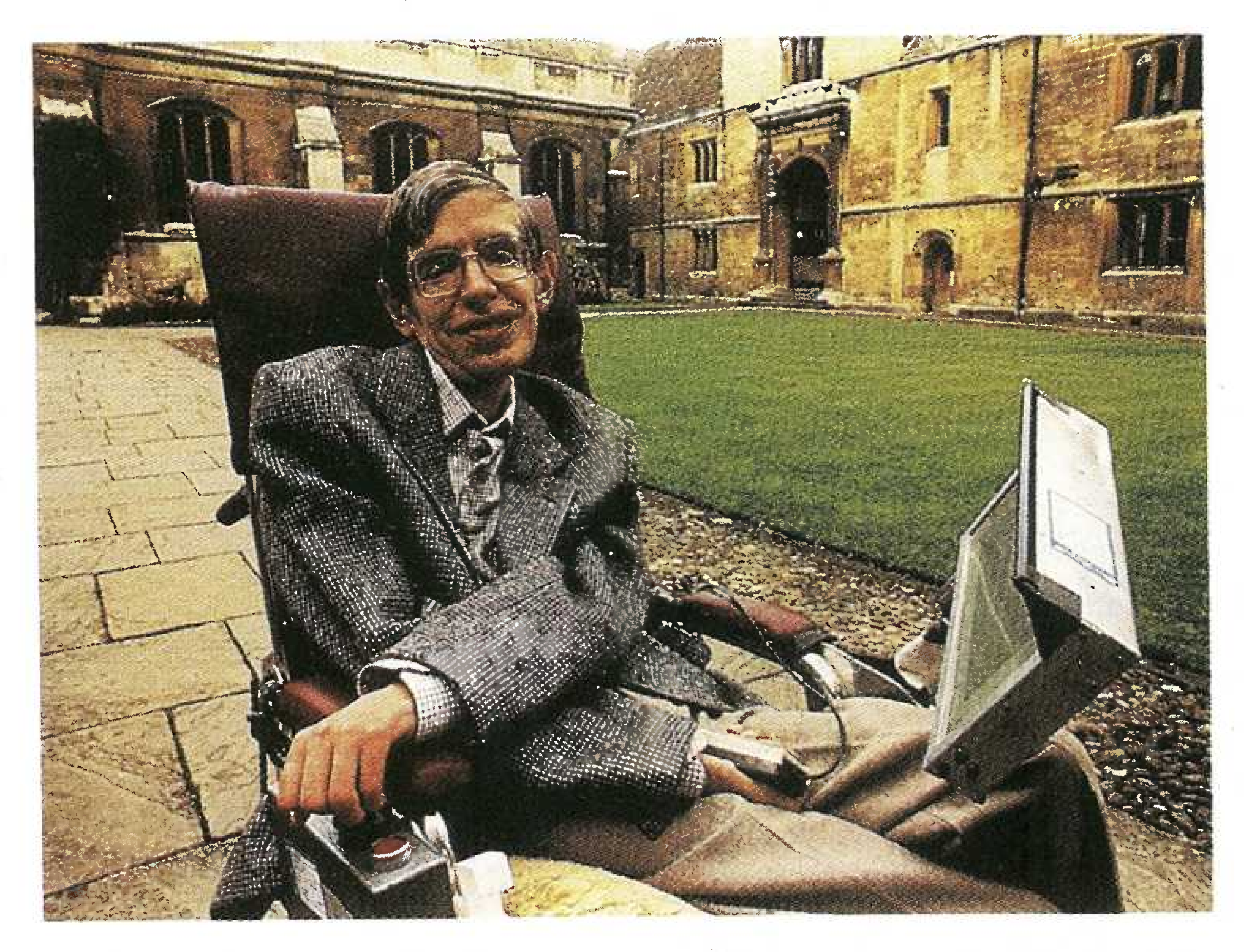
"موجز تاريخ الزمن" إلى نتيجة تقضى بأنه حال اكتشافنا لنظرية كاملة عن كل شيء، فإن مبادئها الأساسية ونتائجها يجب أن تكون مفهومة للكافة، وليس للعلماء وحدهم، وإذا استطعنا جميعاً فهم طبيعة الكون الحقيقية، فإن باستطاعتنا ساعتها أن نأخذ دورنا فى مناقشة قضية وجودنا، إن كان علينا الإجابة عن تلك التساؤلات، وإن حدث هذا فإنه ــ كما يقترح ستيفين هوكينج ــ سيكون أكبر نصر للفكر الإنسانى؛ إذ ساعتها سنكون معاينين لمشيئة الرب.

ربما بدا هذا التحدى للعديد منا بعيد المنال، إذ إن الملايين من البشر لم تُتَح لهم من قبل إمكانية الاقتراب من كشف طبيعة الكون، ولربما حتى لم نحاول ذلك بسبب قناعتنا بأنه أمر أبعد من حدود قدراتنا على الفهم. لكن من المحتمل أن تهبنا محاولاتنا لفهم طبيعة الكون ــ بمثل ما حاول فهمها ستيفين هوكينج وعلماء الكونيات عبر التاريخ ــ حياة مرضية وكاملة كما نتمناها.

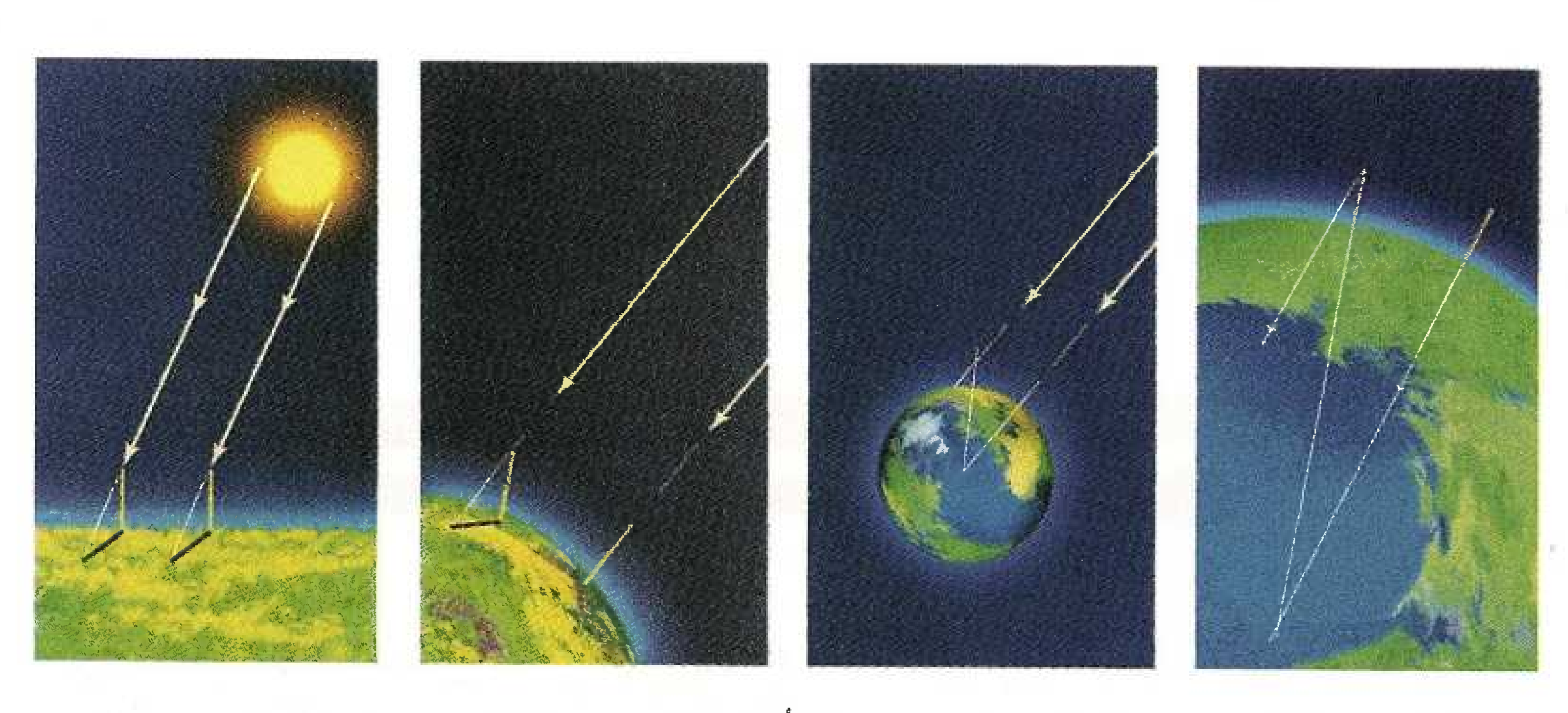
ملحق الصور



(١) مركب التجديف "الثُّمَانى روجر" عام ١٩٦٢ بأكسفورد. ويظهـــر ديفيـــد فيلكـــين — مؤلف الكتاب ــ الثانى من اليسار، وستيفين هوكينج فى موقع ماسك الدفة بقبعتـــه القـــش وردائه المميز.



(٢) تم انتخاب ستيفين هوكينج للزمالة "بجونفى" بكليـــة "كـــايوس" بكيمبريـــدج. ويبـــدو بالصورة نموذج قديم لمحاكى الصوت مُركَّبًا على الكرسى المتحرك.



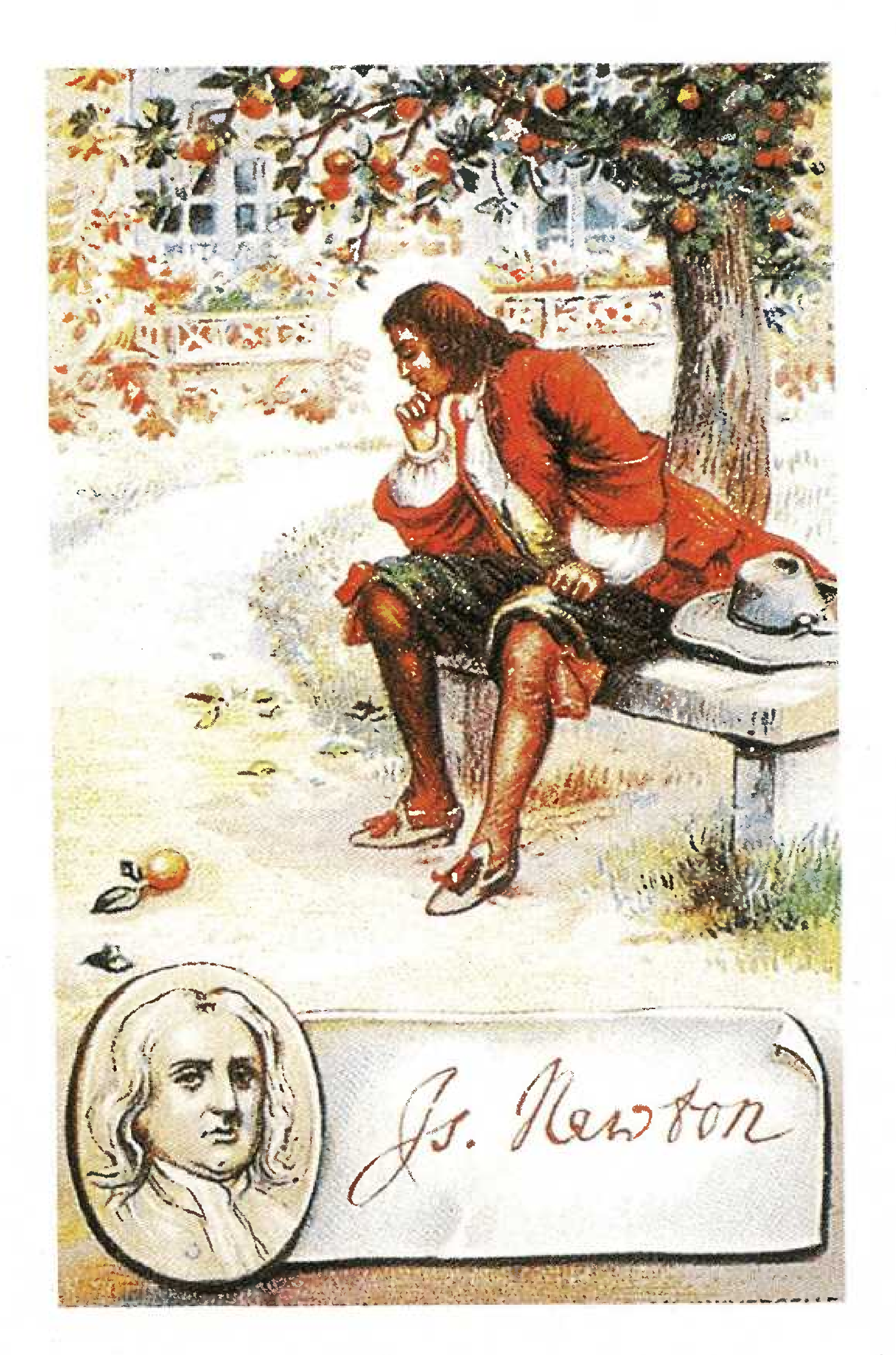
(٣) تجربة العصوين لإيراتوستينيس، حيث تُظهر الصورة الأولى ــ على اليسار ــ حالة تخيلية لأرض مسطحة، وباقى الصور الحالة الحقيقية للأرض الكروية وكيف استخدم إيراتوستينيس الهندسة الإقليدية لحساب محيطها.



(٤) بنى جاليليو جاليلى (١٥٦٤ - ١٦٤٢) عدة تلسكوبات بسـيطة لدرجـة مدهشـة، اعتمدت على تصميم مُبسط، والتى تظهر بالصورة من ضمنها؛ لكن لا أحد يعلم بالضبط إن كان أى منها قد استخدمه جاليليو فعليًا لعمل أرصاده التاريخية التـى جعلتـه يواجـه الكنيسة.



(٥) صوَّر جوزيف ـ نيكولاس روبرت ـ فلورى (١٧٩٧ - ١٨٩٠) محاكمة السلطات الكنسية لجاليليو عام ١٦٣٢ قبل الحكم عليه بالإدانة مباشرة.



(٦) ربما أثرت "التفاحة الساقطة" فى نيوتن، إلا أن الرياضيات المعقدة فى نظريته عن الجاذبية تشير إلى أن الأمر استلزم أكثر من مجرد لحظة إلهام حتى يتوصل إلى نظريته الكاملة.

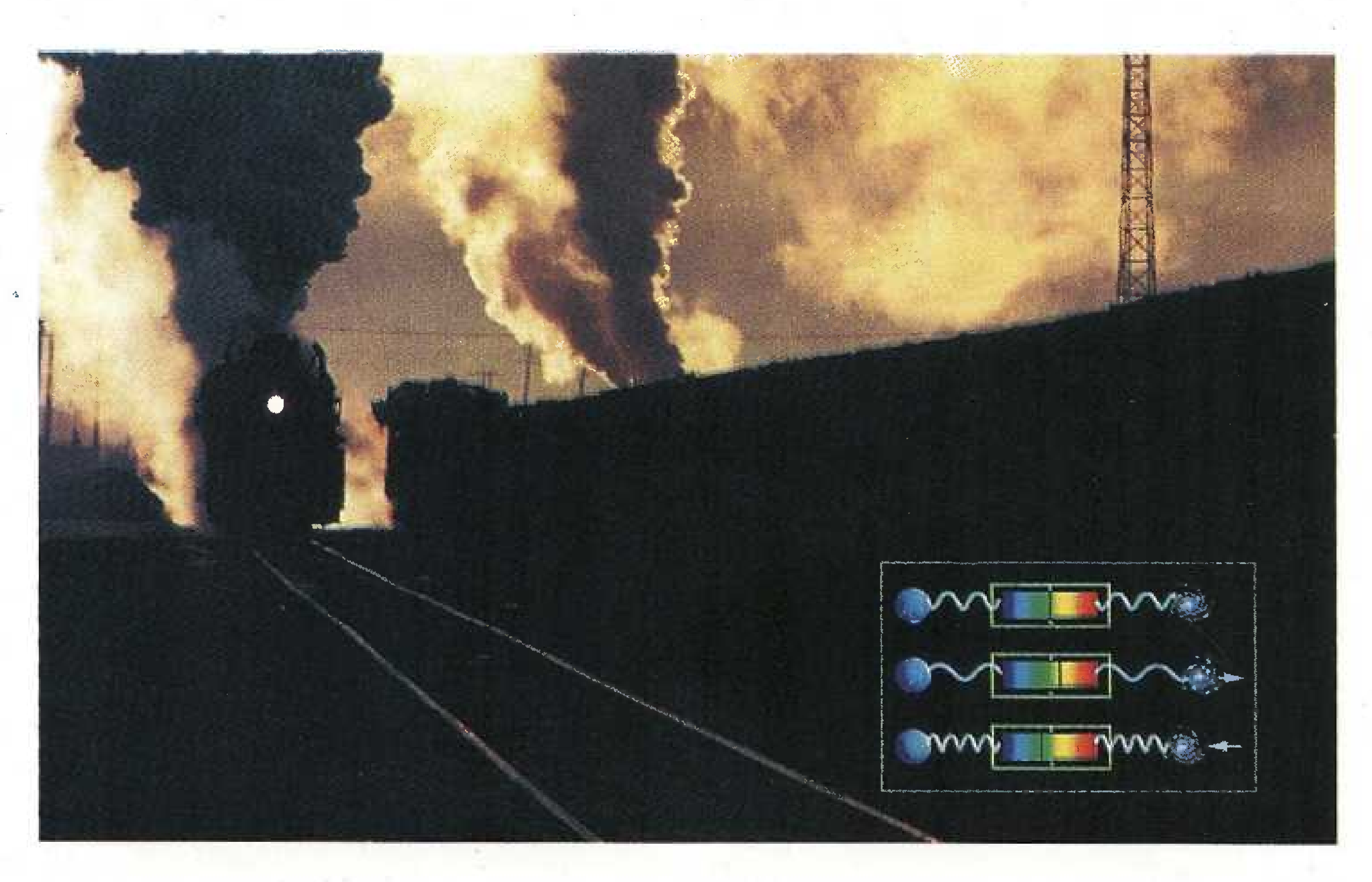


(٧) تلسكوب نيوتن العاكس الصغير، والذى رأى بواسطته الكثير من التفاصيل التى تظهر فى الصور الحديثة، وقد كان نيوتن أول من وضع مرآة فى تلسكوبه ليحصل على صورة أكثر تكبيرًا ووضوحًا عبر أنبوب أكثر قِصرًا. وتلسكوبه هذا، الذى لا يتعدى طوله الشِّبر، أصبح نموذجًا لما أعقبه من تلسكوبات عملاقة.

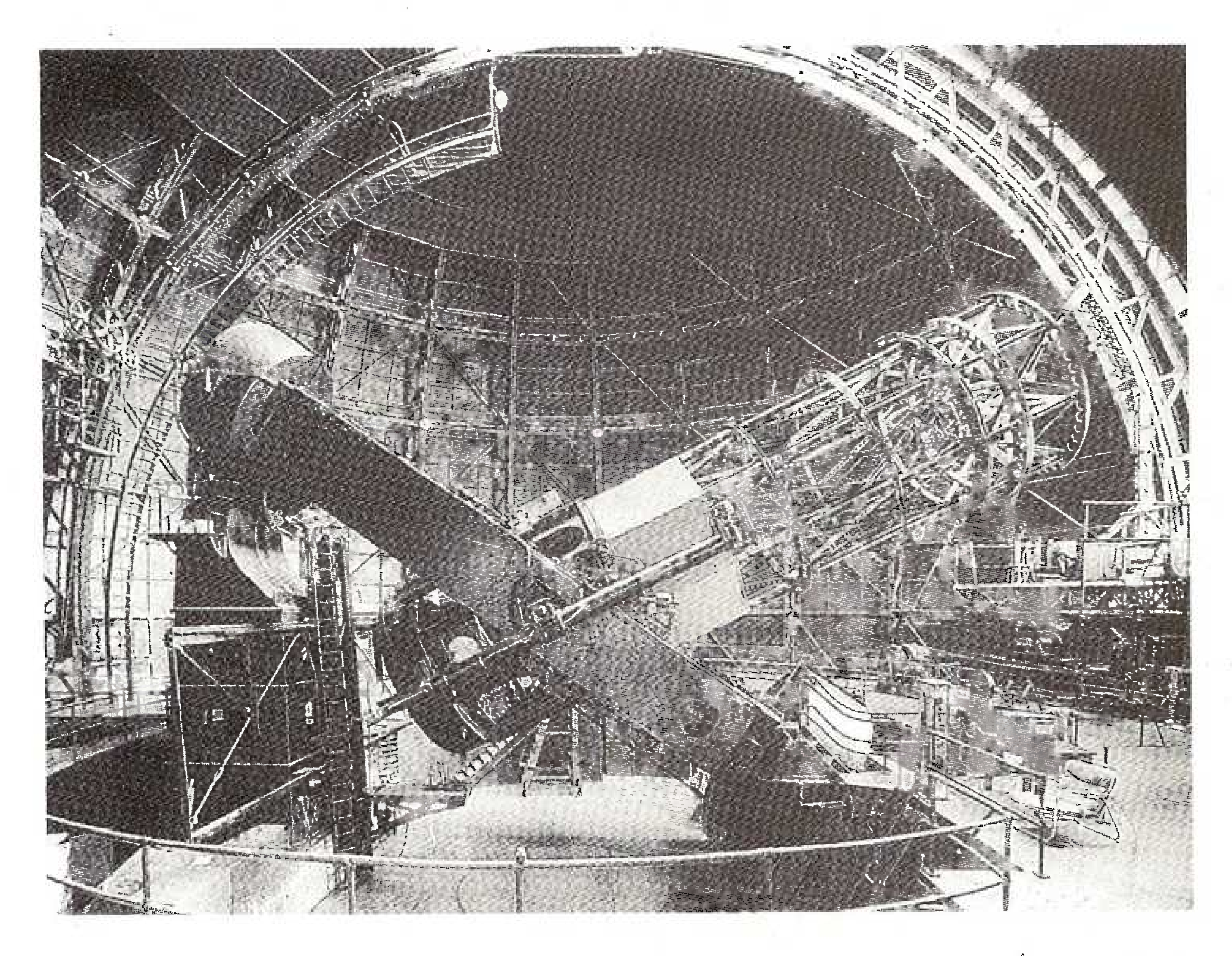




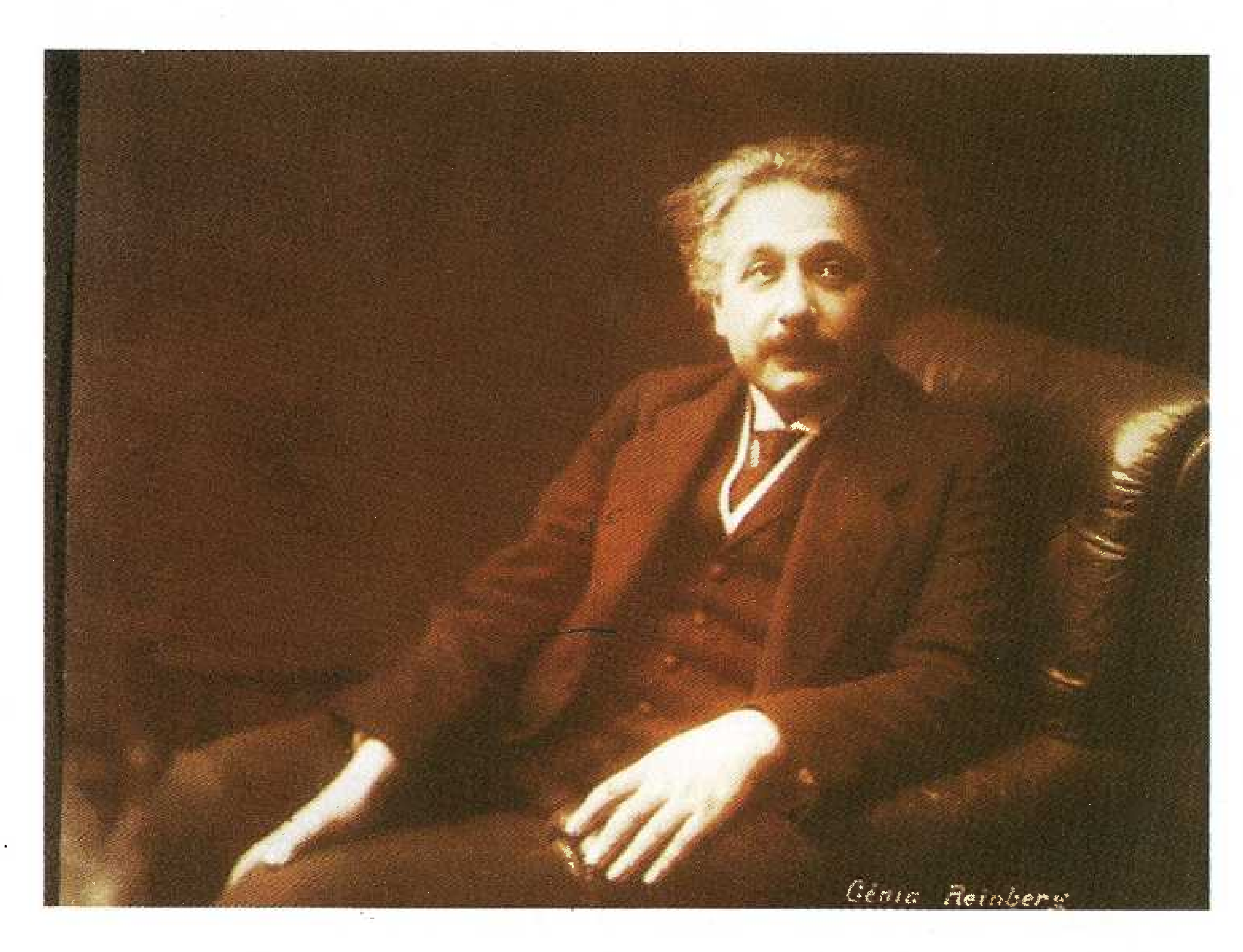
(٨) يوضح الرسم العلوى، الذى أعده "بارسونس" المجرة الحلزونية، لكنه لـم يعـرف ماهيتها فى ذلك الوقت. وتوضح الصورة السفلية لقطة فوتوغرافية حديثة تؤكد دقة رسـم بارسونس لِما رآه.



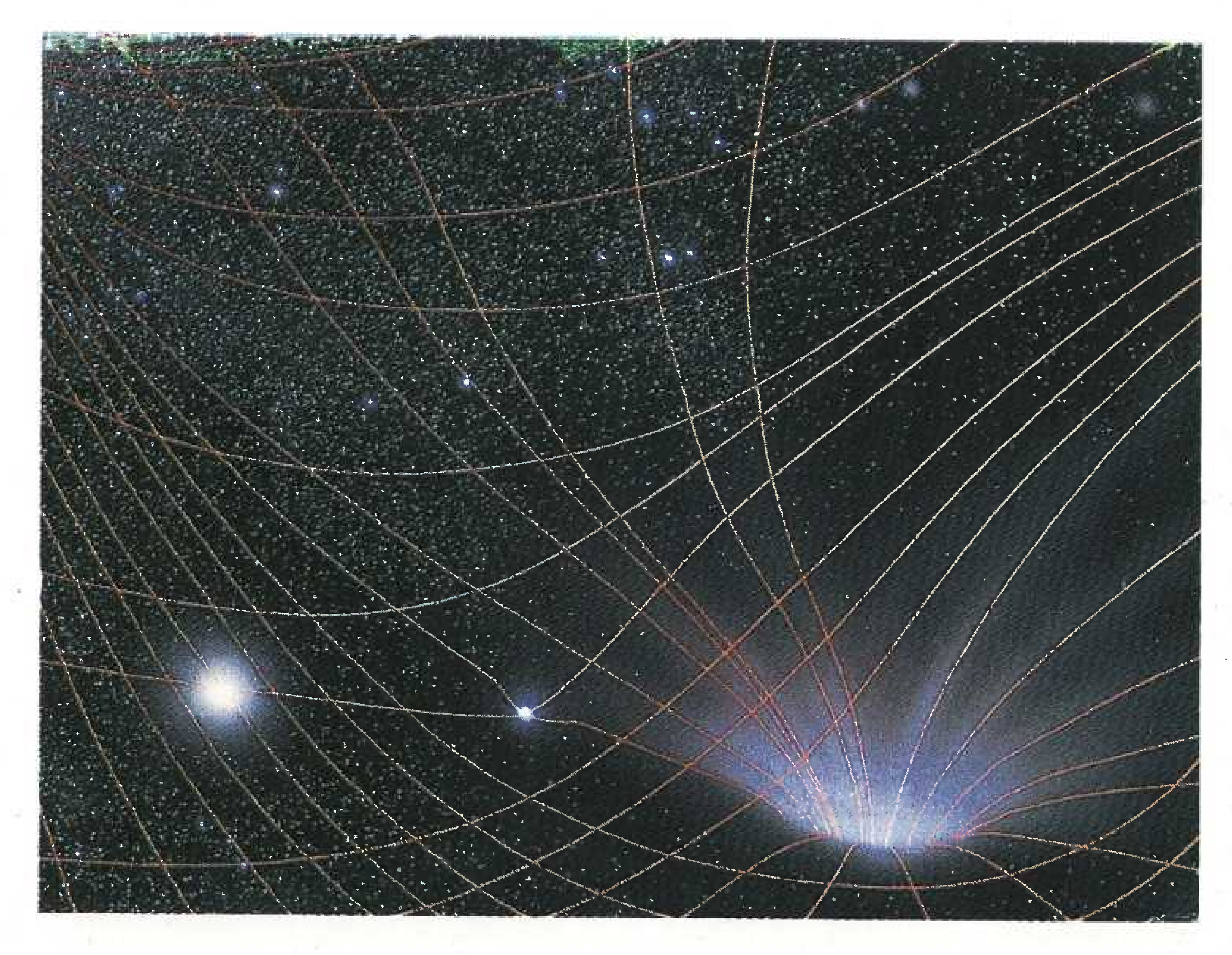
(٩) قام "كريستوفر بويز ــ بالوت" فى هولندا بأشهر تجربة للتأكد من صحة تأثير دوبللر، حيث جعل مجموعة من الموسيقيين تستقل قطارًا، وأخذ مكانه على رصيف المحطة، ثم طلب من سائق القطار أن يتحرك تجاه المحطة، بينما يعزف الموسيقيون نغمة ثابتة، فميّز كريستوفر تأثير دوبللر؛ إذ كان هناك تغير فى طول النغمة عندما مر القطار أمامه. ويُرى بالصورة الداخلية لأسفل التأثير نفسه فى حالة الضوء القادم من المجرات، فإذا ظلت المجرة على بُعد ثابت من الأرض فسوف تظهر خطوط فراونهوفر فى طيف الموجات الضوئية الصادرة عنها فى الموضع "القياسى" (الرسم العلوى)، وفى حالة تحرك المجرة مبتعدة عنا، ستبدو الموجات كما لو كان قد تم مطها، وستُزاح الخطوط نحو اللون الأحمر (الرسم الأوسط)، وإذا تحركت المجرة نحونا، فستبدو الموجات منضغطة، وستُزاح الخطوط نحو اللون الأزرق (الرسم السفلى).



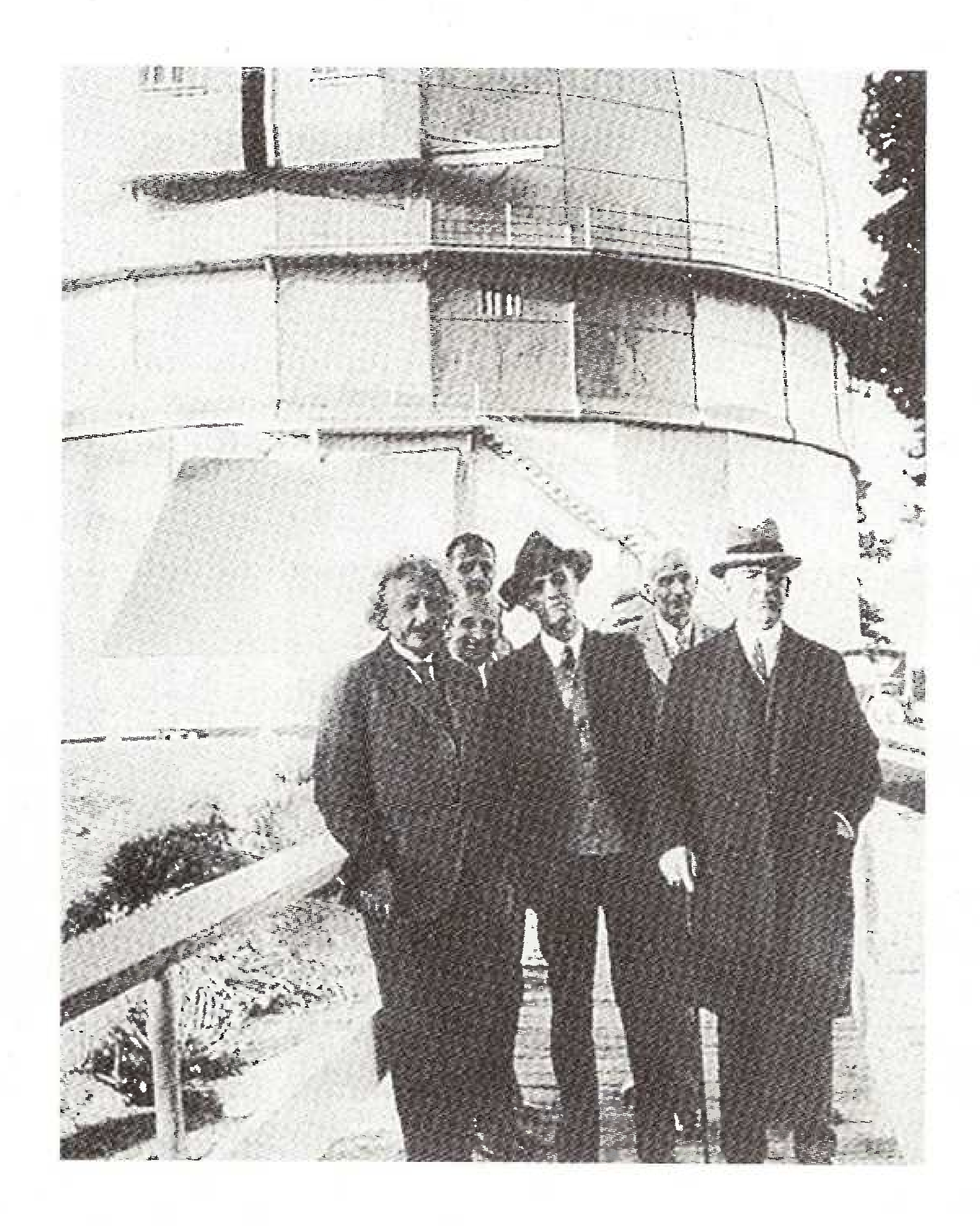
(١٠) عندما تُفتح قبة المرصد، يتم تثبيت التلسكوب فى موضعه وتتحرك منصة الرؤيـــة لأعلى وعلى طول المسار المنحنى لتصبح بمحاذاة قمة التلسكوب حيث توجد "العينيـــة"، ويصل ضوء النجم الذى يتم فحصه إلى المرآة فى قاع الأنبوب، ثم ينعكس للعينيـــة فـــى القمة مرة أخرى.



(١١) لم يكن طموح ألبرت أينشتاين (١٨٧٩ - ١٩٥٥) موجهًا لحل الألغاز الكونية، إلا أن نظرياته الثورية أثَّرت بصورة أساسية على علم الكونيات بمثل ما أثرت علـــى كـــل فروع الفيزياء الأخرى.



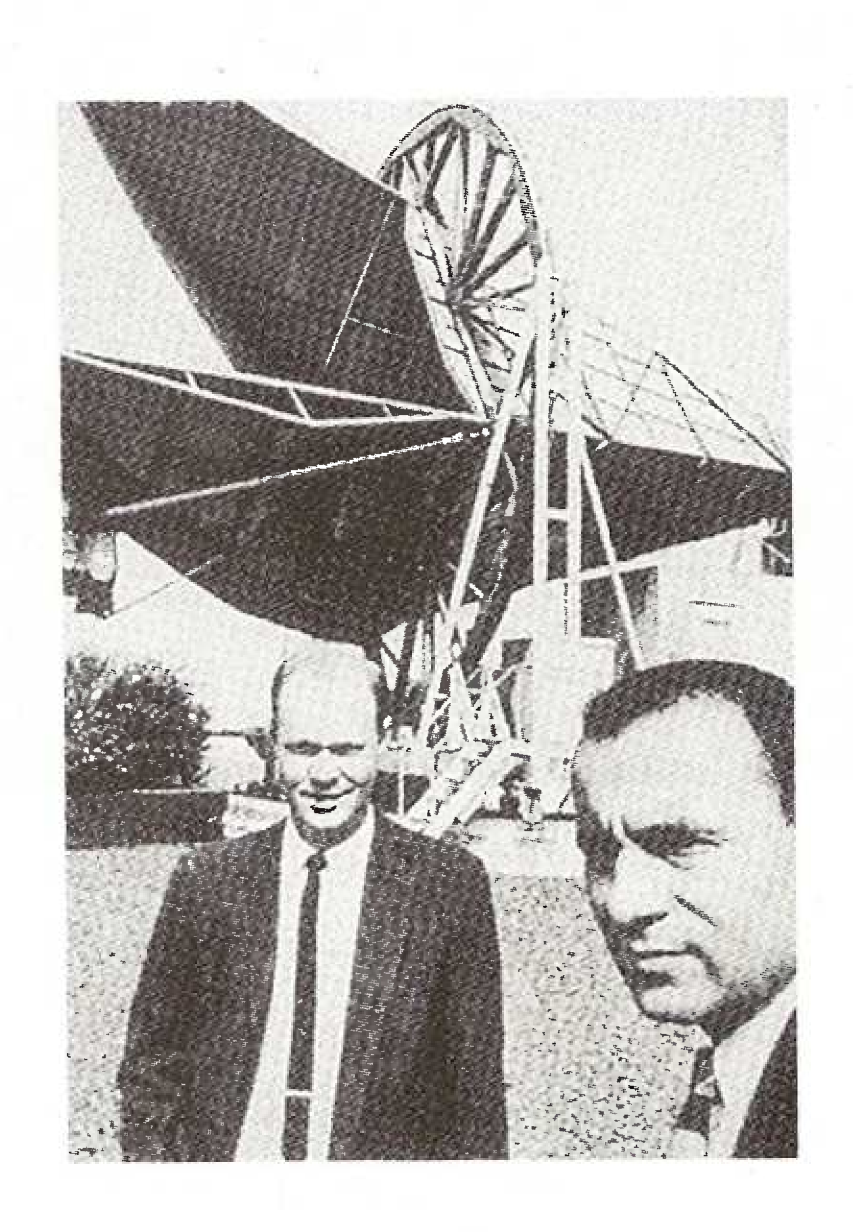
(١٢) عادة ما يتم تمثيل نظرية أينشتاين عن الجاذبية بتخيل أجسام ثقيلة تم وضعها فوق لوح مطاطى به خطوط تُمثل المكان والزمان، وكلما زادت كتلة الجسم زاد انبعاج الزمكان (الزمان والمكان)، وبالتالى زادت صعوبة مرور أى شىء بجواره دون أن ينجذب نحوه.



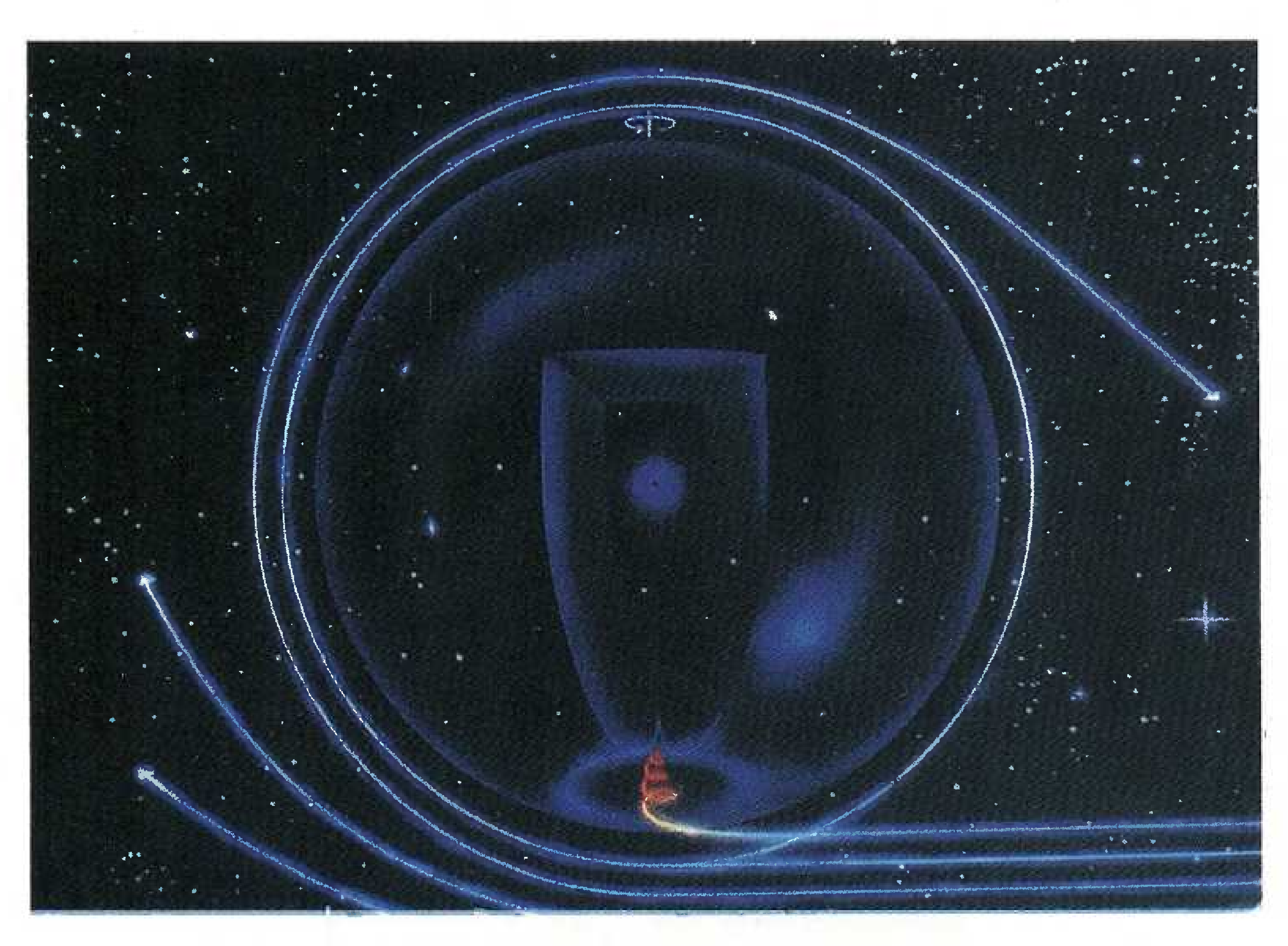
(١٣) ألبرت أينشتاين (على يسار المجموعة) أثناء زيارته لمرصد جبل ويلسون، الـــذى قام فيه إدوين هابل بأرصاده التاريخية، وبعد الزيارة تقابل أينشتاين مع هابـــل ولـــوميتر ليناقشوا أفكارهم. وقد شهد هذا الاجتماع إدراك أينشتاين للخطأ الـــذى ارتكبـــه بإضــــافة "الثابت الكونى" لمعادلاته، الذى سبق أن وضعه للعمل على الحد من تمدد الكون.

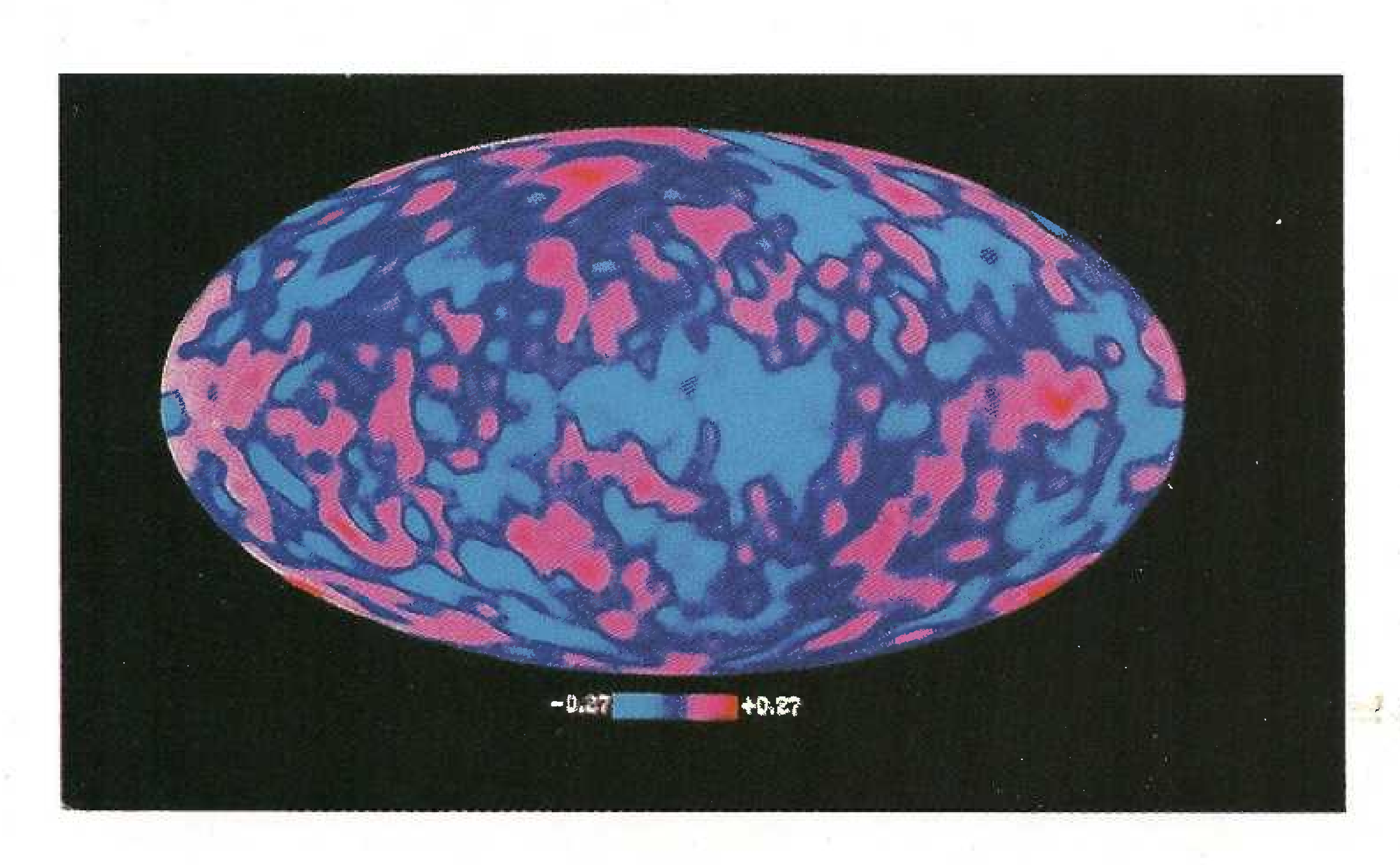
(١٤) قام رالف ألفر (إلى اليسار) وهانز بيتى (فى الوسط) وجورج جاموف (إلى اليمين) بنشر بحث مشترك فى عام ١٩٤٨ لم يساهم فيه هانز بيتى، بالرغم من ذلك فقد أضاف جاموف اسم بيتى كنوع من الدعابة؛ حتى يصير البحث معروفاً باسم (بحث: ألفا بيتا جاما) لاعباً نغمة أسماء العلماء الثلاث. ومع ذلك لم يكن بيتى مجرد اسم مناسب تم وضعه على البحث؛ إذ نال جائزة نوبل فى الفيزياء عام ١٩٦٧ عن دراسته لطاقة النجوم.



(١٥) الهوائى القرنى العملاق بمعامل "بِلْ"، الذى صنع الاكتشاف بالمصــادفة. ويظهــر أرنوْ بنزياسْ (إلى اليمين) وبجواره روبرتْ ويلسونْ، اللذان نالا جائزة نوبل عام ١٩٧٨ بسبب اكتشافهما غير المقصود عام ١٩٦٤.



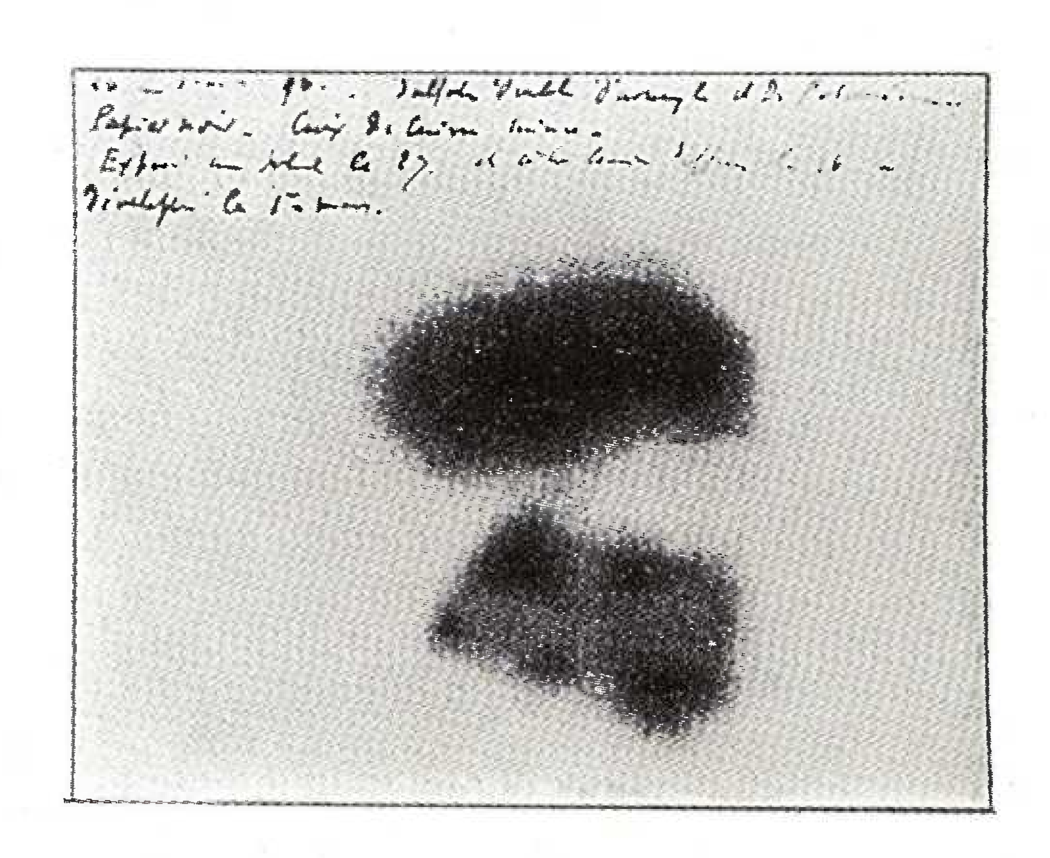
(١٦) يعتبر انهيار النجم إلى "مفردة"، الذى وصفه روجر بنروز، النموذج النظرى الكامل لوصف الثقب الأسود (راجع الفصل الحادى عشر). ويوضح انطباع الفنان هنا المفـــردة كنقطة سوداء فى عمق الثقب الأسود. وهى من الكثافة حتى إنها إن أمسكت بشىء فإنه لا يُفلت منها من فرط جاذبيتها، ولا حتى الضوء؛ كما يُرى ثلاث أَشِعات ضـــوئية انحنـــت بفعل جذب المفردة والثقب الذى خلقته، إلا أنها تمكنت من الهرب فى نهاية المطاف، أمـــا الشعاع الرابع فقد وقع بين شقى الرحى، فلا هو استطاع الهرب ولا هو سقط فى الثقـــب، بل ظل دائرًا حوله مُحدِدًا لإطاره الخارجى، والشعاع الخامس انجذب للداخل مباشرة ولم يتمكن من الهروب مطلقًا.



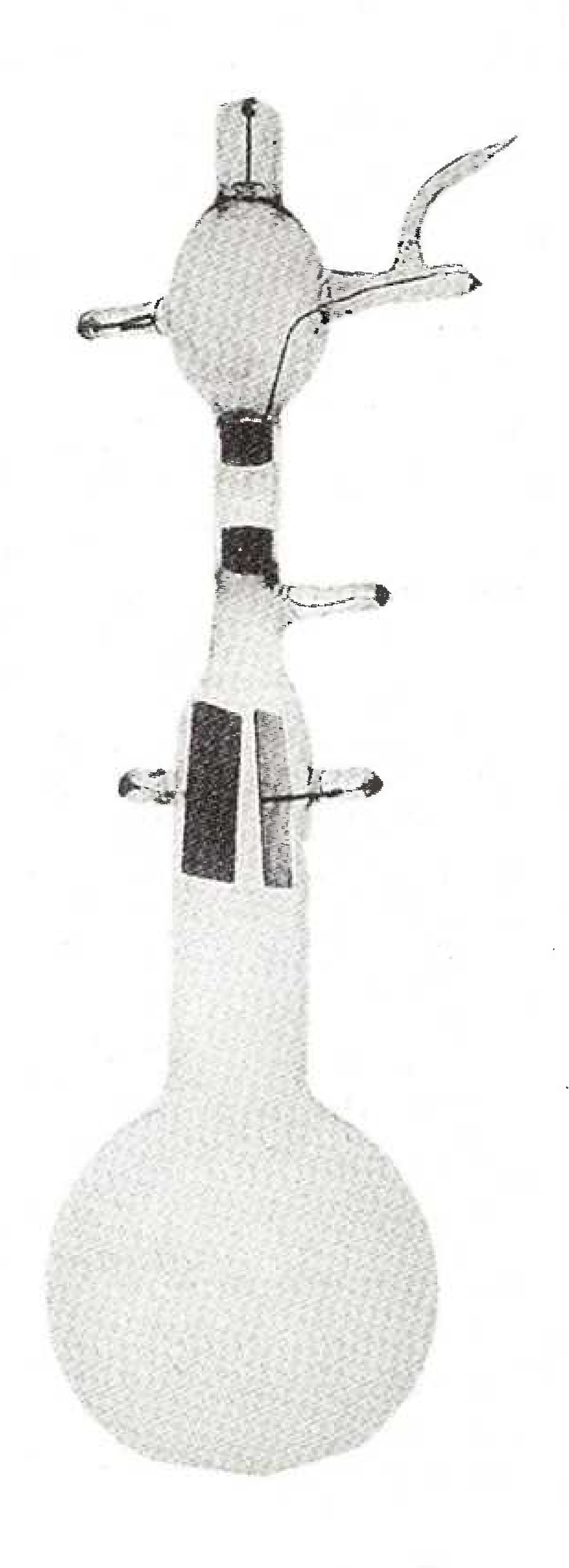
(١٧) الخريطة التى أنتجها الكمبيوتر للخلفية الإشعاعية، والتى أكدت بشكل نهائى وجود تفاوتات فى درجة الحرارة، وقد وصفها سموت "بالبيضة الكونية"، التى يمكن أن تكون قد أفرخت لنا كل شىء فى الكون. ويظهر بالصورة اللـــونين القرمـــزى والأزرق اللـــذين استخدمهما سموت فى إنتاج الصورة (للإشارة إلى المناطق الأكثر حرارة، وتلك الأكثـــر برودة).



(١٨) منذ ١٥٠٠ عام تقريبًا أوضح رسم مثل هذا العناصر الأربعة التى تتكـون منهـا الأشياء، ويوضح الرسم طائرًا ـ للتعبير عن الهواء غير المرئى ـ كما أن التراب، الذى يُمثل الأرض، هو الوعاء للماء والنار.



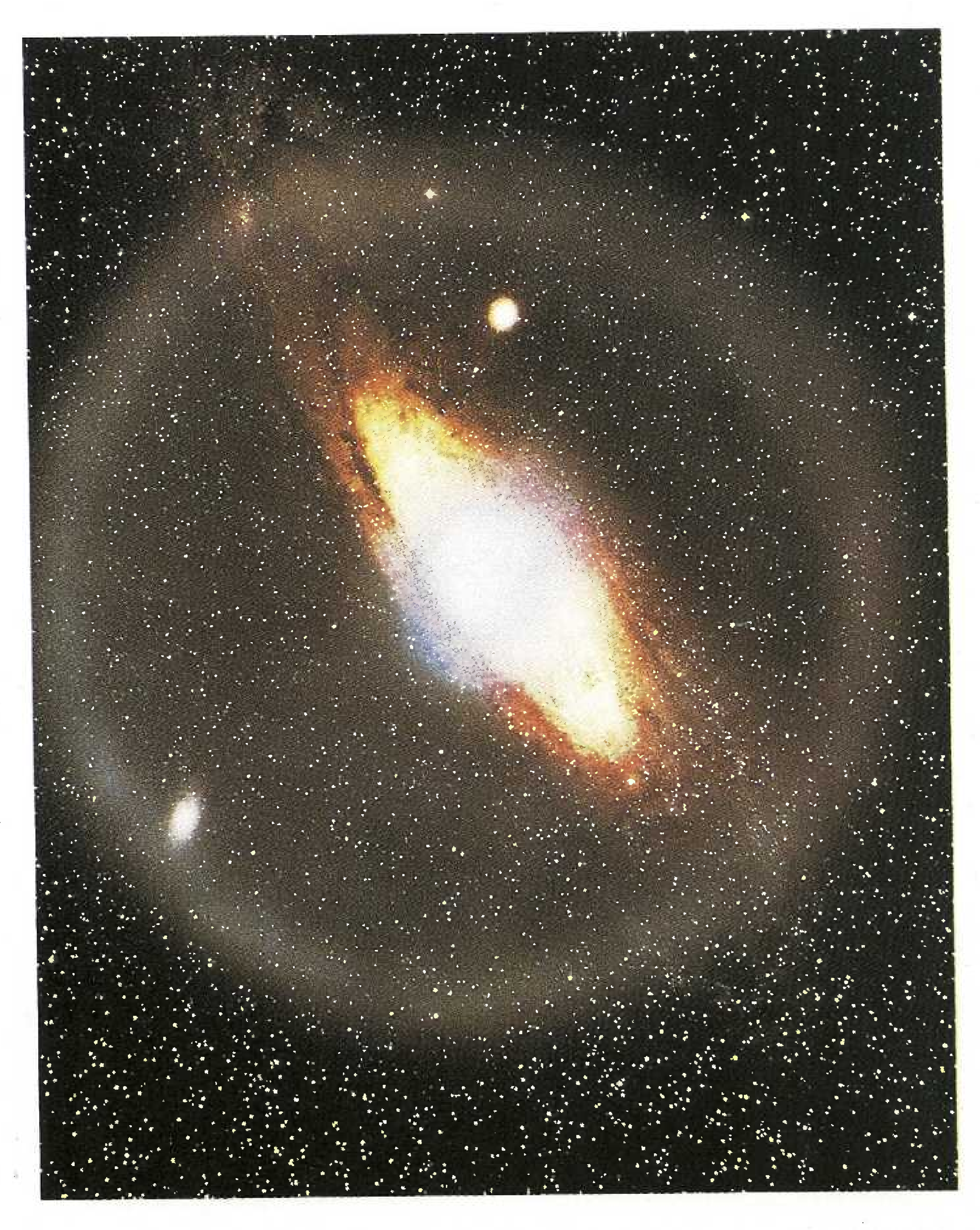
(١٩) اكتشف هنرى بيكوريل (١٨٥٢ – ١٩٠٨) النشاط الإشعاعى عن غيـــر قصـــد، وكان المعتقد السائد وقتها أن أملاح اليورانيوم الموضوعة على لوح حساس، وملفوفة فى ورق أسود، ستؤثر فيه عند تعرضها لأشعة الشمس، ولكن الجو كان غائمًا فى ذلك اليوم؛ لذا ترك هنرى الأملاح واللوح محفوظين فى مجفف منتظرًا ليوم مشرق. وعلى أية حال، فقد قام باستظهار اللوح الحساس بعد مضى ثلاثة أيام، واكتشف ظهور "تلوثات ضـــبابية" عليه بالفعل بسبب الأملاح، بغض النظر عن تعرضها للشـــمس. وتبـــدو فـــى الصـــورة ملاحظاته التى دونها بخط يده.



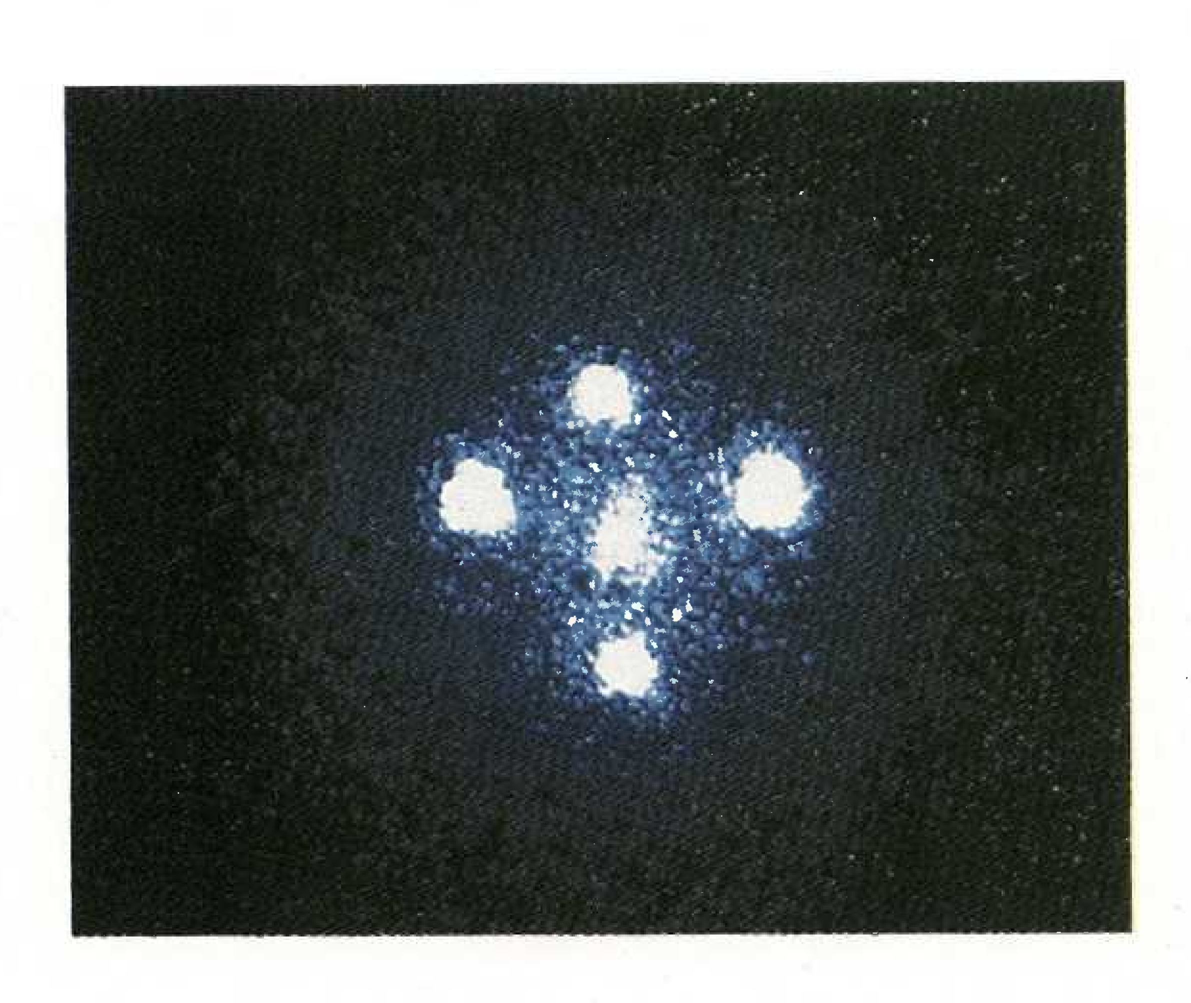
(٢٠) اشتهر "جوزيف طومسون" (١٨٥٦ - ١٩٤٠) باسم ج.ج.طومسون، الذى قام باستخدام أنبوب أشعة المهبط (التى تظهر بالصورة) فى تجاربه الأساسية. لقد ظن العلماء الألمان قبل ج.ج.طومسون أن التأثيرات فى تلك الأنابيب ترجع إلى الإشعاع الكهرومغناطيسى، ثم جاء هو ليثبت أن سببها الإلكترونات.



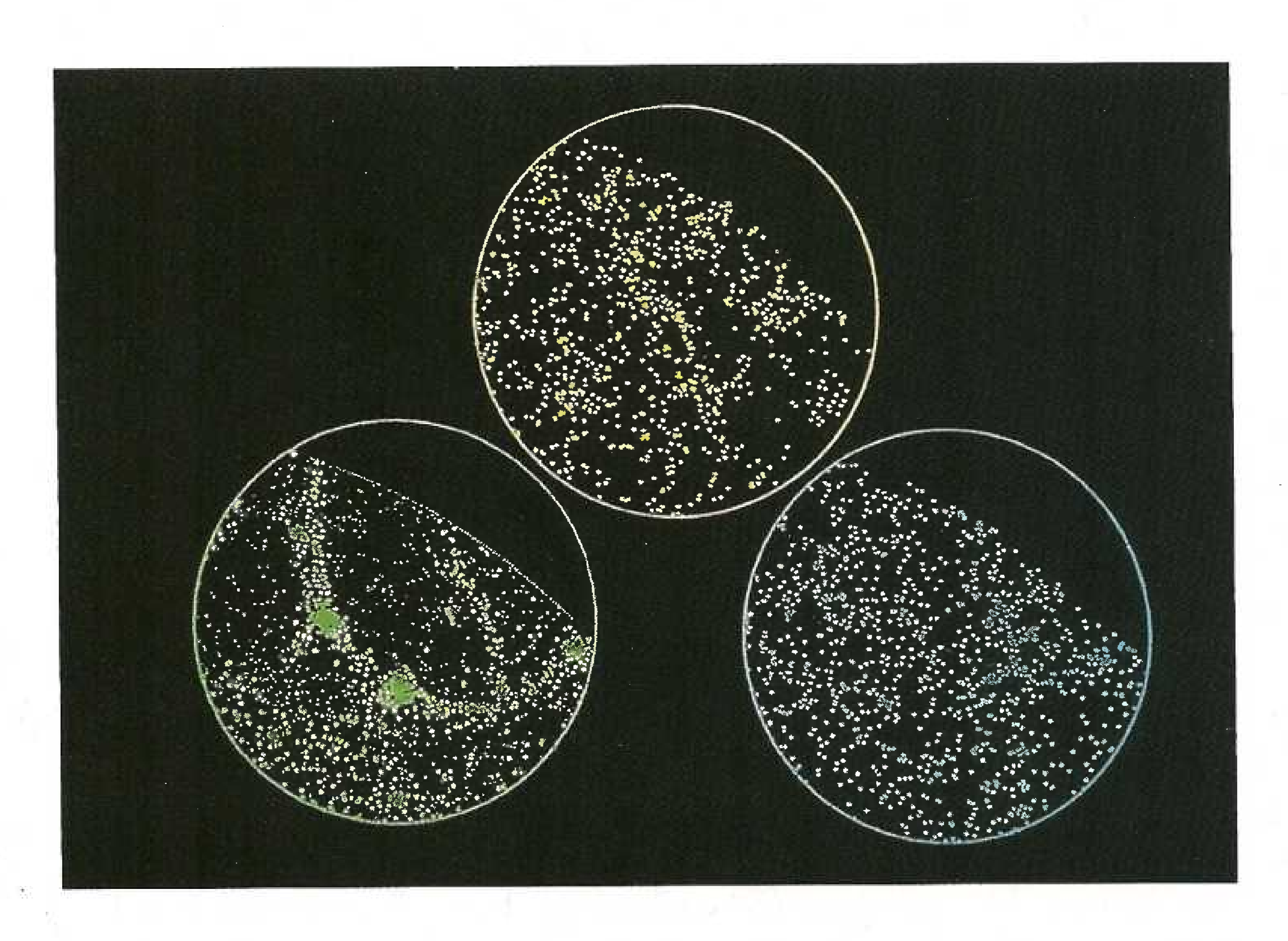
(٢١) جانب من التجهيزات العملاقة بمُعجل الجسيمات "سيرن"، وفى الصورة الداخليـــة تظهر لقطة جوية للمنطقة التى تحوى أنبوبه الدائرى بمحيط ٢٧ كيلومتر.



(٢٢) انطباع فنان عن هالة المادة المظلمة حول مجرة المرأة المسلسلة. ومن المفترض أن هذه الهالة تتكون من "النيوترينات"، لكنها - أيضًا - قد تحتوى على "ماكوات" أو "ويمبات". إننا على يقين من أن شيئًا ما يجب أن يكون هناك بسبب ما نراه من تأثيرات الجاذبية على النجوم المرئية فى المجرة.



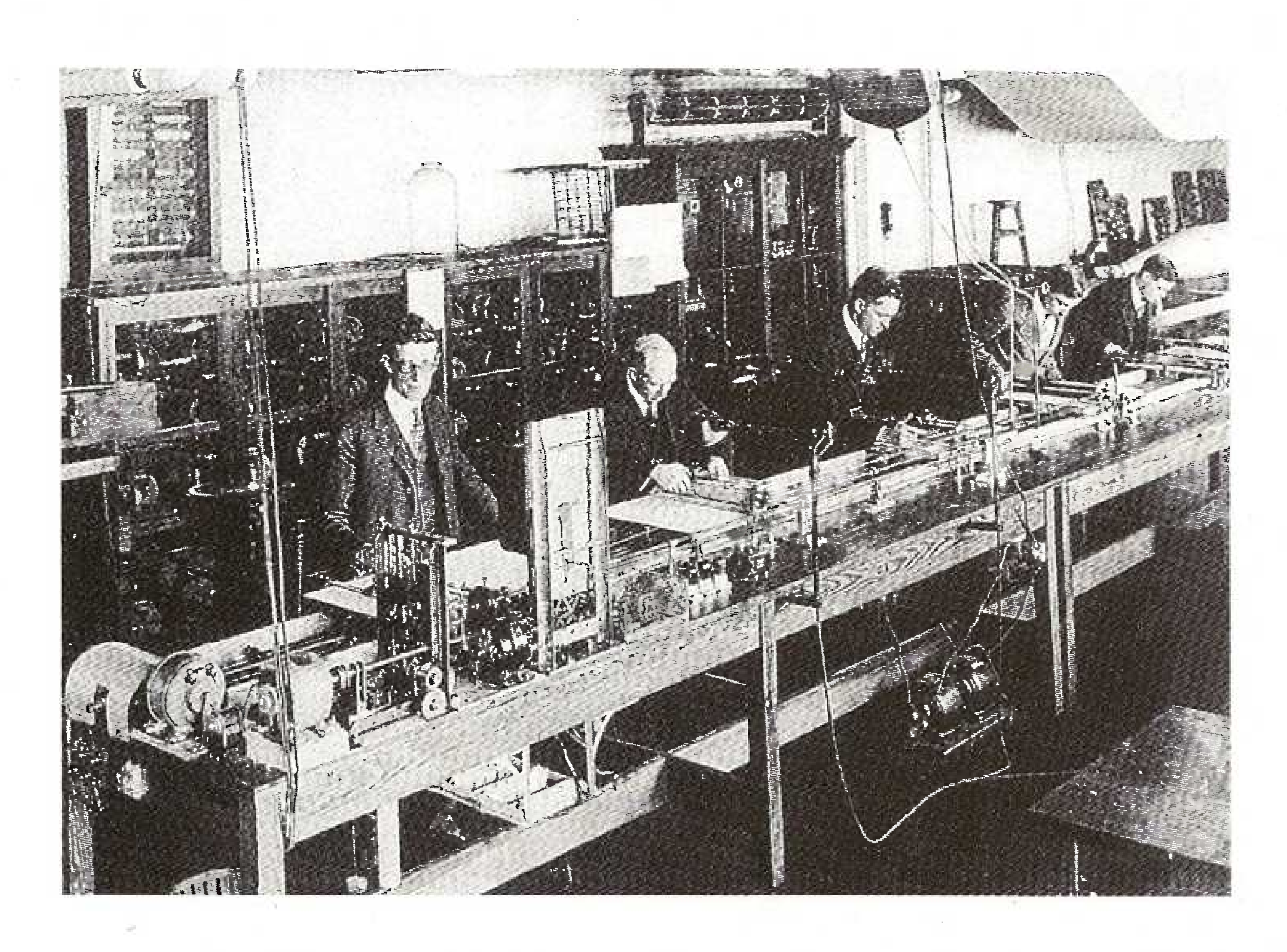
(٢٣) هذه المصادر الخمسة المتماثلة لضوء قادم من أعماق الفضاء، كما التقطها تلسكوب هابل الفضائى، ما هى إلا جسمان فقط فى الواقع، فبقعة الضوء المركزية تُمثل مجرة قريبة نسبيًا (تبعد عنا حوالى ٤٠٠ مليون سنة ضوئية)؛ بينما الصور الأربع حولها – فى الواقع – تُمثل "كوازار" وحيد (يبعد عنا حوالى ٨٠٠٠ مليون سنة ضوئية)، وقد أثرت جاذبية المجرة التى تقع على مسار الضوء القادم من الكوازار فانحنى، مما أدى إلى ظهور الصور الأربع للكوازار، ويُعد هذا مثالاً جيدًا للتأثير "العَدَسى" الذى استخدمه فريق الماكو.



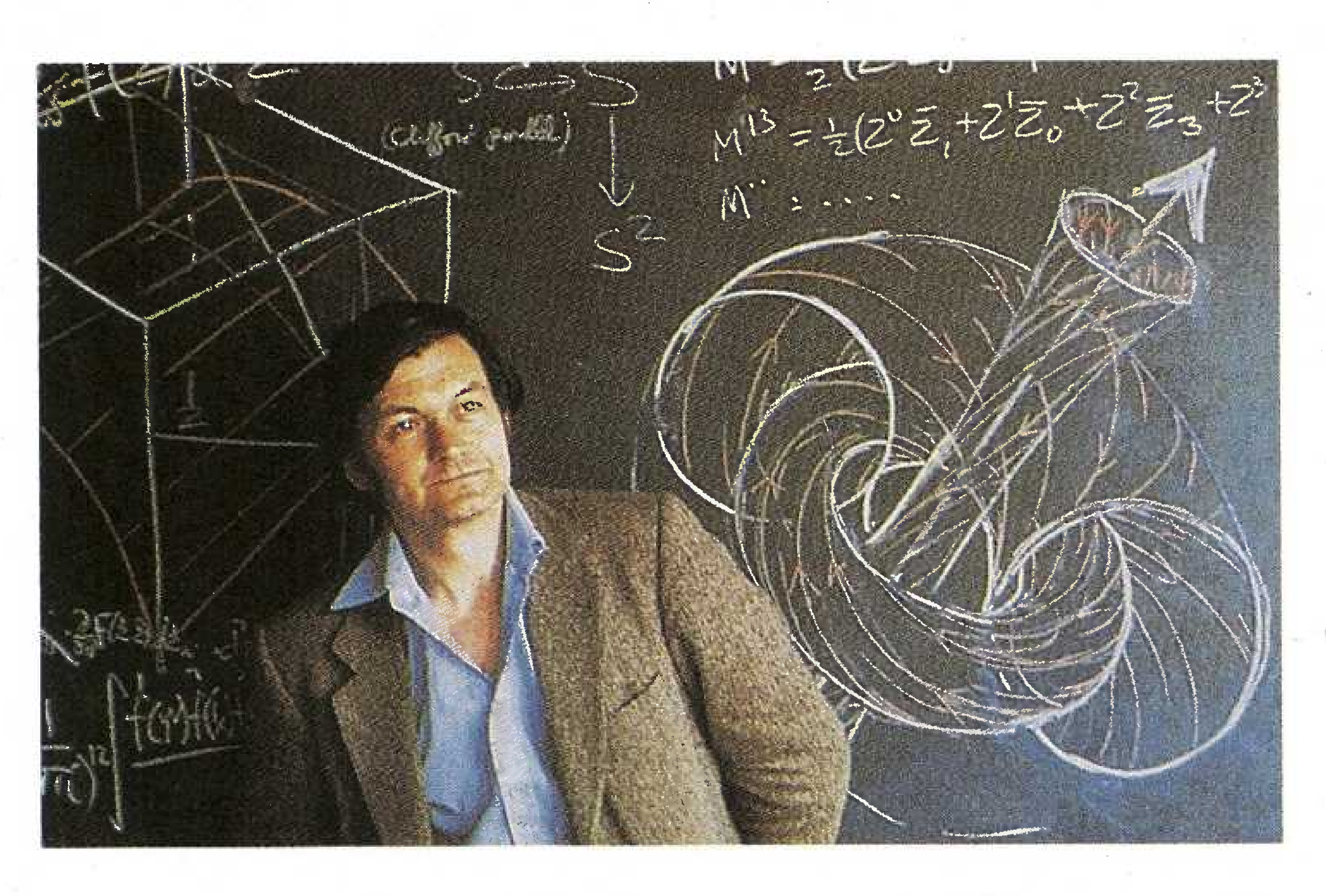
(٢٤) صور نمطية لتركيب الكون أنتجها الكمبيوتر، وتوضح الصورة الوسطى الكــون الحقيقى كما نعرفه من معلومات الأرصاد؛ أما الصورة اليُسرى فلنموذج يفترض أن المادة المظلمة ساخنة (ومثالها النيوترينو)، والصورة اليُمنى تفترض أن المادة المظلمة بــاردة، ومن الواضح أنها أشد شبهًا بالصورة الوسطى التى تُمثل الكون الحقيقى.



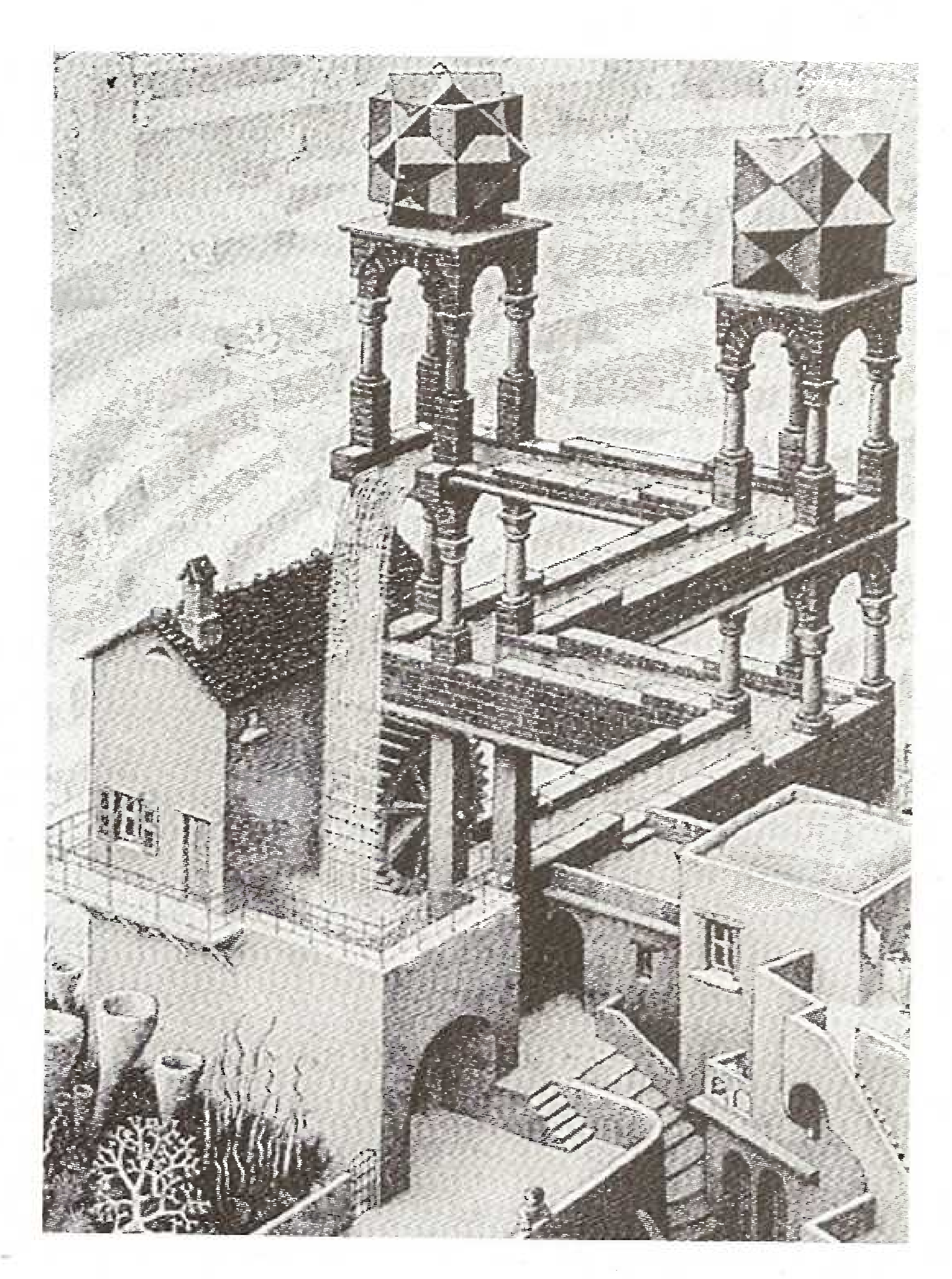
(٢٥) توضع التلسكوبات الراديوية فى مصفوفات، كتلك التى تقع بأستراليا، بحيث تجمع البيانات، التى تتطلب قوة تحليل عالية جدًا للصور، لتبدو وكأن طبقًا واحدًا هائلاً قطـــره حوالى خمسة كيلومترات ــ فى هذه المصفوفة ــ قام بجمعها.



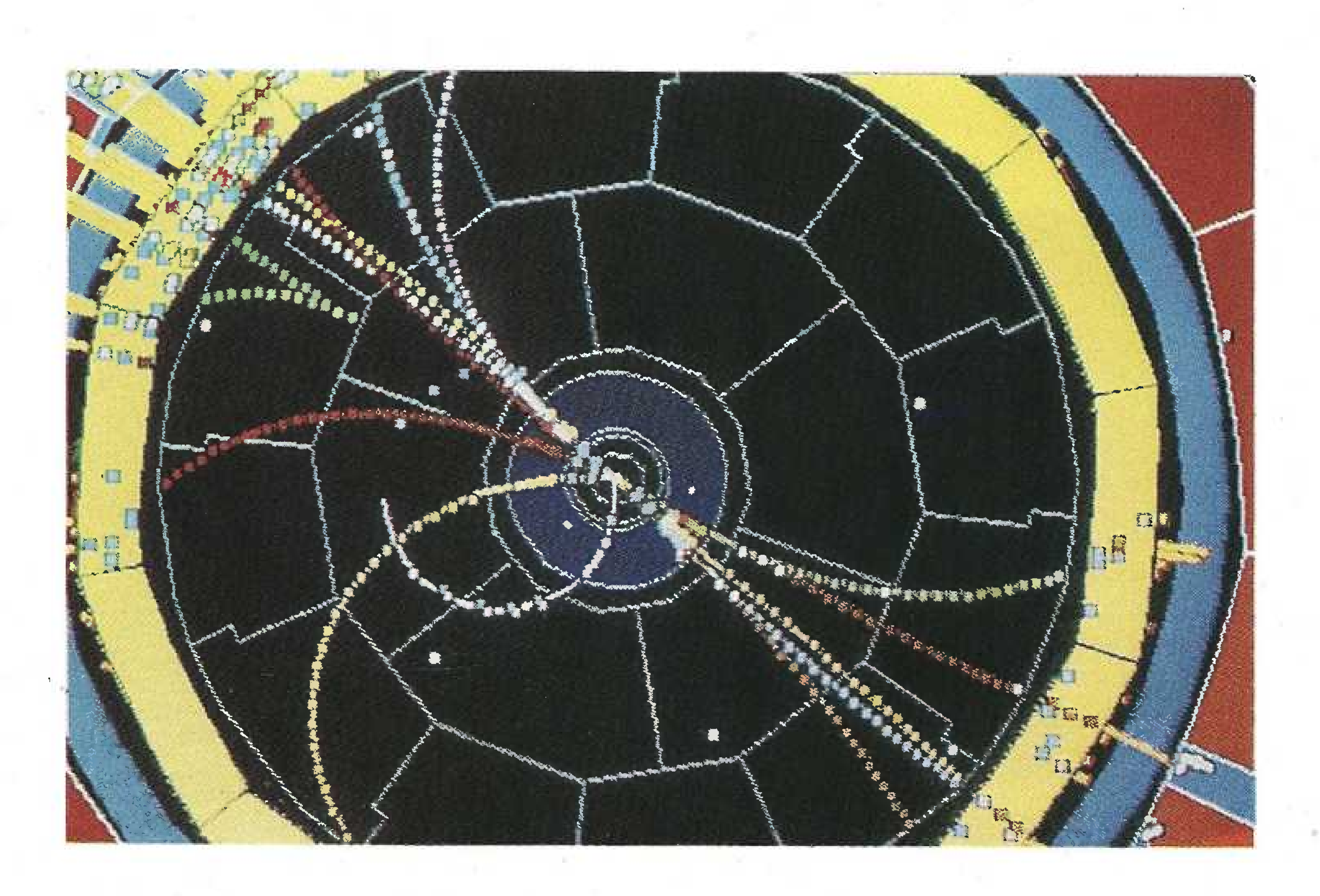
(٢٦) استلزم تطوير الماكينات الحاسبة الأولى إلى أجهزة كمبيوتر جهدًا كبيرًا من وزارة الدفاع الأمريكية، وكانت البيانات فى ذلك الزمن تدخل إلى الحاسب يدويًا عبر كروت مثقبة.



(٢٧) روجر بنروز أمام السبورة يقوم بشرح إحدى نظرياته ذات المستوى الرفيع من الرياضيات، التى يسميها نظرية "الإعصار".



(٢٨) لوحة "مسقط المياه" للفنان "إيشر".. للوهلة الأولى يبدو أن مسار المـــاء لأعلـــى، تدفعه الساقية؛ ولكن مع الفحص الدقيق للرسم يتضح الخطأ فى الطريقة التى يتدفق بهـــا الماء.



(٢٩) يمكن أن يقدم لنا الكمبيوتر أقرب تصور عن تصادم الجسيمات للتعرف على بعض الأمور التى وقعت لحظة الانفجار العظيم. فبعض التصادمات العنيفة فى معجلات الجسيمات تنتج ـ لفترة قصيرة جدًا ـ تلك النوعية من الضغط والحرارة اللذين يجب أن يكونا قد وُجِدا أثناء الثانية الأولى للانفجار العظيم.

رقم الإيداع بدار الكتب:
٢٠٠٥/٣٩٧٨

الترقيم الدولى:
ISBN 977-17-2053-8

المطبعـــة : دار نوبـار للطباعـة

يُطلب من:
المكتبة الأكاديمية

١٢١ شارع التحرير ــ الدقى ــ الجيزة
جمهورية مصر العربية

تليفون: ٣٣٦٢٣٤٢، ٣٣٦٨٢٨٨
فاكس: ٧٤٩١٨٩٠

هذا الكتاب

يعرض هذا الكتاب **تاريخ الفكر العلمى وتطوّره حول الكون**، والتحديات التكنولوجية التى صادفت الباحثين فى سبيل رصد وتحليل وفهم الكون، كما يستعرض محاولات الإنسان فى سبيل ذلك عبر التاريخ حتى آخر ما تم التوصل إليه وقت إصدار هذا الكتاب بلغته الأصلية عام ١٩٩٧، ومستشرفا آفاق البحوث العلمية فى القرن الحادى والعشرين.

يناقش الكتاب ـ بلغة بعيدة عن التعقيدات الرياضية ـ العمليات الفيزيائية والديناميكية التى تحدث داخل النُّظُم المختلفة فى الطبيعة والتى تحكمها مبادئ أساسية، مثل مبدأ "السببية"، كما يستعرض التخصصات والنظريات المتعددة التى يستخدمها باحثو علم الكونيات فى محاولة للإجابة عن الأسئلة المتعلقة بنشأة الكون وتطوره ومصيره النهائى.. والكتاب فى النهاية رحلة ميسورة للجميع فى دروب علم الكونيات الوعرة.

إننا ندعو علماءنا فى كافة التخصصات أن يتبنوا معنا محاولة إثراء المكتبة العربية بكتب تتناول **تاريخ وتطور** العلوم المختلفة، لعلنا ـ وقد دخلنا القرن الحادى والعشرين ـ أن نقدم للأمة العربية ماتنهض به لمسايرة ركب الحضارة بإثراء ثقافتها العلمية، ومن ثَم تأهلها للخلق والإبداع والابتكار.